



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
ENGENHARIA DE ENERGIA

Ranielly Albina Ramos

Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações Residenciais: Análise de
Soluções Passivas em Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

Araranguá
2024

Ranielly Albina Ramos

Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações Residenciais: Análise de Soluções Passivas em Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Luciano Lopes Pfitscher

Araranguá
2024

Ramos, Ranielly Albina

Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações Residenciais : Análise de Soluções Passivas em Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre / Ranielly Albina Ramos ; orientador, Luciano Lopes Pfitscher, 2024.

68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Desempenho térmico. 3. Edificações sustentáveis. 4. Consumo de energia elétrica. I. Pfitscher, Luciano Lopes . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Energia. III. Título.

Ranielly Albina Ramos

Desempenho Térmico e Eficiência Energética em Edificações Residenciais: Análise de Soluções Passivas em Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Giuliano Arns, Rampinelli, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Thayane Lodete Bilésimo, Dr^a.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Profa. Carla de Abreu D'Aquino, Dr^a.
Coordenadora do Curso

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Orientador ou Coorientador

Ranielly Albina Ramos
Autora

Araranguá, 12 de novembro de 2024

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar as estratégias de condicionamento térmico passivo mais eficazes para edificações residenciais nas cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, considerando as características climáticas da edificação e padrões de consumo energético. O estudo baseia-se em uma revisão teórica de técnicas bioclimáticas, como ventilação natural, inércia térmica, sombreamento e aquecimento solar passivo, aplicadas a diferentes climas subtropicais. A partir da análise comparativa entre essas três cidades, o trabalho avalia a eficácia das estratégias em diferentes estações do ano e destaca a necessidade de adaptação às condições climáticas locais. Para Curitiba, que apresenta invernos rigorosos, é necessária a priorização de soluções que promovam o aquecimento e a retenção de calor. Em Florianópolis, caracterizada por um clima insular, são recomendadas estratégias equilibradas de aquecimento e resfriamento, dada a necessidade de enfrentar desafios tanto no verão quanto no inverno. Porto Alegre, com verões intensos e invernos amenos, requer uma combinação de estratégias de resfriamento e aquecimento passivo. O estudo também aborda a possibilidade da aplicação dessas estratégias em edificações já existentes, além de avaliar a possibilidade de generalização dos resultados para outras cidades com climas semelhantes. Os resultados indicam que a implementação de soluções bioclimáticas, como ventilação natural, inércia térmica, sombreamento e aquecimento solar passivo, pode reduzir o consumo de energia e melhorar o conforto térmico dos usuários. Conclui-se que a adoção dessas práticas é fundamental para promover a sustentabilidade e a eficiência energética nas edificações da Região Sul do Brasil.

Palavras-chave: estratégias bioclimáticas; condicionamento térmico passivo; eficiência energética; Região Sul do Brasil.

ABSTRACT

This study aims to analyze the most effective passive thermal conditioning strategies for residential buildings in Curitiba, Florianópolis, and Porto Alegre, considering the building climatic characteristics and energy consumption patterns. The study is based on a theoretical review of bioclimatic techniques, such as natural ventilation, thermal inertia, shading, and passive solar heating, applied to different subtropical climates. Through the analytic comparison between these three cities, the study evaluates the effectiveness of these strategies in different seasons and highlights the need for adaptation to local climatic conditions. For Curitiba, which has severe winters, it is necessary to prioritize solutions that improve heating and heat retention. In Florianópolis, characterized by an insular climate, balanced heating and cooling strategies are recommended due to challenges present in both summer and winter. Porto Alegre, with intense summers and mild winters, requires a combination of cooling strategies and passive heating solutions. The study also discusses the possibility of applying these strategies in existing buildings and evaluates the possibility of generalizing the results to other cities with similar climates. The findings indicate that the implementation of bioclimatic solutions, as natural ventilation, thermal inertia, shading, and passive solar heating, can significantly reduce energy consumption and improve the thermal comfort of users. It concludes that the adoption of these practices is essential to promote sustainability and energy efficiency in buildings in Southern Brazil.

Keywords: bioclimatic strategies; passive thermal conditioning; energy efficiency; Southern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro | 11 |
| Figura 2 - Mapa dos climas do Brasil..... | 16 |
| Figura 3 - Carta Bioclimática para o Brasil com delimitações de estratégias | 20 |
| Figura 4 - Ventilação passiva com efeito chaminé..... | 27 |
| Figura 5 - Ventilação com entradas e saídas de ar | 28 |
| Figura 6 - Ventilação no ático | 28 |
| Figura 7 - Planta com orientação ideal em termos de iluminação natural..... | 30 |
| Figura 8 - Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fict | 31 |
| ícia de peso nulo (q_1) | 31 |
| Figura 9 - Inércia térmica para resfriamento ou aquecimento..... | 32 |
| Figura 10 - Transmissão de energia solar através de três tipos de vidro: (a) transparente, (b) reflexivo, e (c) termo-absorvente..... | 34 |
| Figura 11 - Propriedades termo físicas da cobertura cerâmica e recomendações construtivas | 36 |
| Figura 12 - Propriedades termo-físicas do telhado vegetado e recomendações construtivas (NBR 15220-3)..... | 36 |
| Figura 13 - Consumo de eletricidade em GWh - Região Sul. | 43 |
| Figura 14 - Variação do consumo de eletricidade na rede em 12 meses..... | 44 |
| Figura 15 - Consumo elétrico residencial por uso final em kWh por domicílio | 45 |
| Figura 16 - Zona Bioclimática 1 | 48 |
| Figura 17 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS | 48 |
| Figura 18 - Zona Bioclimática 3..... | 52 |
| Figura 19 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC | 52 |
| Figura 20 - Zona Bioclimática 2..... | 57 |
| Figura 21 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR | 57 |
| Figura 22 - Frequência e direção dos ventos para Porto Alegre, RS..... | 60 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (2005) | 15 |
| Tabela 2 - Capacidade instalada da Região Sul..... | 41 |
| Tabela 3 - Consumo de eletricidade - Região Sul | 41 |
| Tabela 4 - Consumo médio residencial por consumidor (kWh/mês) | 43 |
| Tabela 5 - Simulação de estratégias Bioclimáticas para a cidade de Curitiba, PR..... | 49 |
| Tabela 6 - Simulação de estratégias bioclimáticas para a cidade de Florianópolis..... | 53 |
| Tabela 7 - Simulação de estratégias bioclimáticas para a cidade de Porto Alegre..... | 58 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.2 OBJETIVO | 12 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 12 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 13 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 2.1 DESEMPENHO TÉRMICO..... | 14 |
| 2.1.1 Caracterização do Clima | 15 |
| 2.1.2 Trocas Térmicas | 17 |
| 2.1.3 Índices de Conforto Térmico | 19 |
| 2.1.4 Desempenho Térmico | 23 |
| 2.1.5 Eficiência Energética | 24 |
| 2.2 CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO..... | 25 |
| 2.2.2 Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo | 26 |
| 2.2.2.1 <i>Ventilação</i> | 27 |
| 2.2.2.2 <i>Cor</i> | 29 |
| 2.2.2.3 <i>Orientação Solar</i> | 29 |
| 2.2.2.4 <i>Inércia Térmica</i> | 30 |
| 2.2.2.5 <i>Resfriamento evaporativo e umidificação</i> | 32 |
| 2.2.2.6 <i>Aquecimento solar passivo</i> | 33 |
| 2.2.2.7 <i>Esquadrias</i> | 33 |
| 2.2.2.8 <i>Fechamento Vertical</i> | 34 |
| 2.2.2.9 <i>Brise</i> | 34 |
| 2.2.2.10 <i>Coberturas</i> | 35 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 38 |
| 3.1 ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO SUL E AS ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO PASSIVO EM CADA CAPITAL..... | 38 |
| 3.1.1 Consumo de eletricidade na região sul | 40 |
| 3.1.2 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Curitiba, PR | 47 |
| 3.1.3 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Florianópolis, SC ... | 51 |
| 3.1.4 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Porto Alegre, RS ... | 56 |
| 4 CONCLUSÕES | 62 |
| REFERÊNCIAS | 65 |

1 INTRODUÇÃO

O atendimento sustentável das necessidades de energia torna a eficiência energética um recurso benéfico para a sociedade. A redução no consumo elétrico no setor residencial, através da otimização de recursos, é crucial diante da crise mundial de energia. Nesse contexto, as edificações representam um terço do consumo final de energia (WBCSD, 2020), conferindo à eficiência energética uma posição proeminente nas políticas das principais economias globais. Conforme estabelecido pelo Plano Decenal de Energia para 2027 (PDE, 2017), os principais equipamentos consumidores de energia nas residências brasileiras em 2017 eram, em ordem, geladeira, televisão, chuveiro elétrico e condicionador de ar. Entretanto, as projeções para 2027 indicam que o condicionador de ar se tornará o maior consumidor de energia, com um crescimento anual estimado de 4,5% durante esse período.

A pesquisa de métodos e sistemas para diminuir o consumo de energia com o condicionamento térmico de edificações não apenas oferece incentivos ao setor, mas também contribui significativamente para a redução dos impactos ambientais. Além disso, pode se transformar em uma fonte de inovação, tanto social quanto tecnológica.

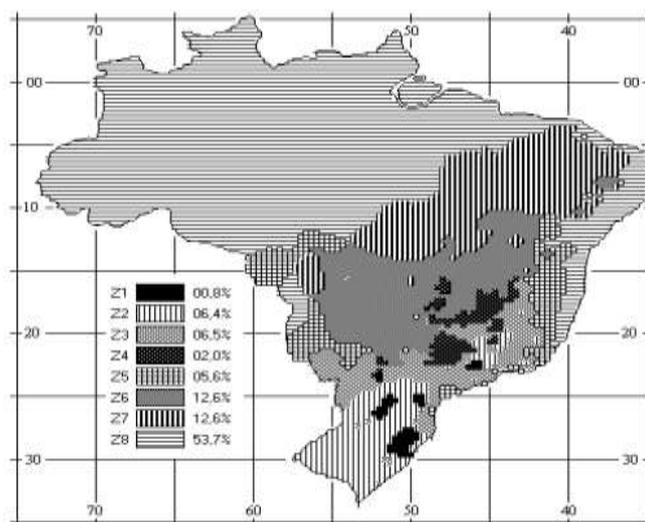
Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2022, o setor residencial foi responsável por 30% do consumo de energia elétrica do Brasil, registrando um aumento de 2% em relação ao ano de 2021. Adicionalmente, a região sul possui maior consumo *per capita*, atingindo 3.084 kWh por habitante. Sendo assim, o uso de soluções de condicionamento passivo no projeto das residências torna-se uma opção para reduzir o consumo de energia nesta região.

As habitações unifamiliares consistem em residências independentes, projetadas com a intenção de abrigar apenas uma família (BRASIL, 2021). A falta de consideração em relação a materiais, tecnologias, equipamentos e avanços na arquitetura bioclimática, que possibilitam o uso otimizado da eletricidade, resulta em um significativo desperdício de energia nessas edificações (EPE, 2020). A redução nos preços de aparelhos de aquecimento e ar-condicionado, aliada ao desenvolvimento social, tem agravado a situação energética nacional. Além disso, as disparidades sociais e econômicas entre os estados influenciam diretamente o consumo de energia, destacando a relação entre essas desigualdades e o aumento da demanda energética. (CORREIA-SILVA, RODRIGUES, 2016).

A Região Sul do Brasil destaca-se por sua notável diversidade econômica, com um PIB que representou 17,22% do total nacional em 2019 (KRAJEVSKI, 2022), e por características sociais distintas, intrinsecamente relacionadas ao seu clima e às diversas zonas bioclimáticas presentes. O clima subtropical é predominante nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3

(Figura 1), e exerce impactos diretos na vida cotidiana, influenciando padrões de consumo e demandas energéticas (PIRES, 2013). Na busca por atender às exigências de conforto térmico, o projeto bioclimático, conforme apontado por Cunha *et al.* (2006 *apud* PIRES, 2013), utiliza o conhecimento das condições ambientais, tanto do meio natural quanto construído, e considera aspectos como lugar, história e cultura. Com isso, a eficiência energética está associada à utilização da correta estratégia para aquele projeto (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro



Fonte: ABNT, 2005b

Dada a variedade climática no Brasil, a pesquisa focaliza nas capitais da Região Sul, Florianópolis, Porto Alegre e Curitiba, conhecidas por seu clima temperado. Nesse contexto, as abordagens arquitetônicas destinadas a otimizar o desempenho das edificações ao longo das estações podem entrar em contradição, considerando as exigências distintas para condicionamento térmico tanto em períodos frios quanto quentes (LINCZUK, 2020). Esta pesquisa tem como finalidade identificar, por meio da revisão de literatura, as estratégias de condicionamento passivo mais eficazes para cada cidade em análise, bem como aquelas que proporcionam benefícios significativos para a região em que estão localizadas. O estudo busca, sobretudo, contribuir para a redução do consumo de energia elétrica associado ao uso de sistemas de climatização nas localidades analisadas.

1.1 JUSTIFICATIVA

O foco principal deste trabalho está nas residências unifamiliares, justificando-se devido ao seu significativo consumo de eletricidade (30% do consumo brasileiro, em 2021), posicionando-se como o segundo maior consumidor do país, atrás apenas do setor industrial, que representa 36,2% do consumo (EPE, 2023). De acordo com a Pesquisa Nacional por

Amostra de Domicílios Contínua (IBGE, 2019, *apud* Linczuk, 2020), a tipologia "casa" corresponde a 86% de um universo de aproximadamente 71 milhões de domicílios em todo o Brasil, mantendo essa mesma proporção na Região Sul e totalizando 10,7 milhões de residências.

O conforto térmico em residências frequentemente tem sido alcançado por meio de soluções que dependem do condicionamento artificial. No entanto, esse setor apresenta um considerável potencial para aumentar a eficiência energética. Ao adotar uma abordagem que incorpora a orientação solar apropriada, utiliza propriedades específicas dos materiais e implementa elementos de proteção de fachada, como fachadas duplas, esquadrias especiais, *brise-soleil* e vegetação, é possível adaptar as edificações ao clima local (PIRES, 2013). Esses ajustes contribuem para a redução significativa do consumo energético nas habitações.

O aumento no consumo de energia, impulsionado pelo crescimento populacional e uma crescente demanda por equipamentos elétricos, é uma realidade evidenciada no país. Nesse contexto, a conservação de energia em edificações torna-se um componente vital nas abordagens construtivas. Simultaneamente, a limitada quantidade de pesquisas sobre alternativas para o condicionamento passivo, bem como elementos e materiais construtivos, especialmente em edificações residenciais, destaca uma lacuna no conhecimento existente.

Este estudo tem como objetivo compreender o estado atual da pesquisa relacionada ao condicionamento passivo na Região Sul do Brasil. A pesquisa visa identificar práticas mais eficazes, alinhadas ao clima e aos dados de consumo. A metodologia adotada consiste em uma abordagem de pesquisa e revisão, focada no período de 2013 a 2024, utilizando fontes variadas, como trabalhos e artigos publicados na internet, informações provenientes da Empresa de Pesquisa Energética e do Ministério de Minas e Energia, e também da plataforma PROJETEEE. A busca será focada em palavras-chave específicas, tais como condicionamento térmico passivo, Região Sul do Brasil, conforto térmico, perfil e redução de consumo de energia elétrica residencial. Essas palavras-chave servirão como guias durante a revisão da literatura, permitindo uma análise abrangente das práticas existentes, dos avanços recentes e das considerações específicas da região em questão.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Revisão das estratégias mais usadas de condicionamento passivo, conforme apresentadas na literatura, para as cidades de Florianópolis, Porto Alegre e Curitiba, capitais da

Região Sul do Brasil, levando em consideração as nuances climáticas e as características específicas do consumo elétrico.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Destacar as principais abordagens e métodos identificados por meio de revisão bibliográfica na área de condicionamento passivo, que apresentaram resultados satisfatórios no contexto das cidades em estudo.
- b) Analisar o impacto das estratégias de condicionamento passivo na eficiência energética e no conforto térmico, levando em conta as características de consumo elétrico de cada capital.
- c) Avaliar consumo energético em edificações residenciais nas cidades em estudo.
- d) Propor recomendações para a implementação eficaz de estratégias de condicionamento passivo em novos projetos residenciais na Região Sul, visando otimizar a eficiência energética e o conforto térmico.
- e) Analisar a extensão em que as conclusões sobre as características de consumo nas cidades em estudo, no contexto do clima e do perfil socioeconômico, podem ser generalizadas para outras cidades da região.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados os conceitos fundamentais relacionados ao condicionamento térmico passivo, com ênfase em estratégias que promovem a eficiência energética e o conforto térmico nas edificações. Essas estratégias se mostram especialmente relevantes em climas subtropicais, onde há consideráveis variações sazonais de temperatura. A compreensão desses conceitos é essencial para o desenvolvimento de soluções sustentáveis e adequadas às necessidades locais. Na subseção 2.1, será discutido o conceito de conforto térmico, destacando os fatores ambientais e fisiológicos que influenciam diretamente a percepção de conforto pelos ocupantes das edificações

2.1 DESEMPENHO TÉRMICO

De acordo com a norma NBR 15220-1, as condições térmicas de um ambiente, que atendem às necessidades psicofisiológicas de um indivíduo, são definidas como conforto térmico (ABNT, 2005). No entanto, essas condições não são homogêneas para todos os indivíduos, o que torna desafiador atender a todas as pessoas no mesmo espaço, dada a extensa diversidade nas percepções físicas e psicológicas (ASHRAE, 2004). Para Frontczark e Wargocki (2011 *apud* PIRES, 2013), é quando o calor gerado pelo corpo e o calor dissipado para o ambiente alcançam a neutralidade térmica, e ocorre a satisfação térmica.

Segundo Lamberts *et al.* (2016), as variáveis relacionadas ao conforto térmico podem ser categorizadas em ambientais e humanas. As variáveis humanas estão associadas ao metabolismo gerado pela atividade física realizada e pela resistência térmica oferecida pelas roupas. Adicionalmente, fatores como idade, raça, sexo, hábitos alimentares, altura, peso, entre outros, podem influenciar no conforto individual. As variáveis ambientais incluem a temperatura, velocidade e umidade relativa do ar, além da temperatura radiante média.

O ser humano é um animal homeotérmico, cuja temperatura interna é mantida em torno de 37°C. Esse controle térmico é realizado pelo seu aparelho termorregulador, que coordena a redução ou aumento das perdas de calor por meio de mecanismos de controle (FROTA; SCHIFFER, 2001). As trocas térmicas entre o corpo e o ambiente, visando a dissipação de calor, podem ser classificadas como secas, abrangendo condução, convecção e radiação, ou úmidas, relacionadas à evaporação. O calor trocado com o ambiente por meio das trocas secas é denominado calor sensível, pois depende da diferença de temperatura entre o corpo e o ambiente. Por outro lado, o calor perdido por meio das trocas úmidas é chamado de calor latente,

pois envolve a mudança de estado do suor, líquido, para gasoso, vapor (FROTA; SCHIFFER, 2001).

As vestimentas atuam como um isolante térmico próximo ao corpo, funcionando como uma barreira à troca de calor por convecção. Essa resistência, dependente do tipo de tecido, da fibra e do ajuste ao corpo, deve ser medida por meio de trocas secas, relacionadas à pessoa que as utiliza (LAMBERTS *et al.*, 2016). Ao desempenharem essa função, as roupas reduzem a sensibilidade às variações de temperatura e velocidade do ar. A unidade de medida é o clo, sendo:

$$1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W} = 1 \text{ terno completo.}$$

A experiência de conforto térmico também é moldada pelo tipo de edificação, as condições climáticas externas e a estação do ano. Ao comparar edificações equipadas com ar-condicionado àquelas naturalmente ventiladas, nota-se que estas últimas frequentemente apresentam temperaturas mais elevadas, as quais aumentam conforme a variação da temperatura externa (FRONTCZAR e WARGOCKI, 2011). Além disso, a Tabela 1 mostra que a sensação térmica no ambiente pode ser drasticamente alterada a depender da atividade realizada, uma vez que a taxa de produção de energia pelo corpo humano pode aumentar em até 20 vezes.

Tabela 1 - Taxa metabólica para diferentes atividades segundo ISO 7730 (2005)

| Atividade | Metabolismo (W/m²) |
|---|--------------------------------------|
| Deitado; reclinado | 46 |
| Sentado, relaxado | 58 |
| Atividade sedentária (escritório, escola, etc.) | 70 |
| Atividade leve em pé (fazer compras, atividades laborais, etc.) | 93 |
| Atividade média em pé (trabalhos domésticos, balconista, etc.) | 116 |
| Caminhando em local plano a 2 km/h | 110 |
| Caminhando em local plano a 3 km/h | 140 |
| Caminhando em local plano a 5 km/h | 200 |

Fonte: elaboração do autor, adaptado de LAMBERTS *et al.*, 2016

2.1.1 Caracterização do Clima

O clima é determinado pelo padrão das variações e combinações entre diversos fatores, conforme Givoni (1976, *apud* PIRES, 2013). A constituição do clima envolve três elementos

principais: pressão atmosférica, umidade e temperatura. Esses elementos interagem entre si, dando origem aos diversos climas existentes na Terra. No entanto, a manifestação dessas características varia temporal e espacialmente, sendo influenciada por fatores geográficos como latitude, altitude, maritimidade, continentalidade, vegetação, além das atividades humanas (ALVES; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2014).

Figura 2 - Mapa dos climas do Brasil



Fonte: Lamberts *et al.*, 2014.

úmido. Esta região destaca-se por apresentar as quatro estações bem definidas. De acordo com Nimer (1979, *apud* PIRES, 2013), a região sul possui a maior unidade climática. As massas de ar, nesse contexto, têm pouca interferência da geografia, já que predominam terrenos planos onde, ao longo de todo o ano, ocorrem as frentes polares, resultando em um índice pluviométrico alto e constante (PIRES, 2013).

A região Sul do Brasil se destaca por sua regularidade na distribuição anual de precipitação, variando entre 1.250 e 2.000 mm, associada às baixas temperaturas no inverno. A variabilidade térmica é acentuada, com médias anuais entre 14°C e 22°C, podendo cair para cerca de 10°C em áreas mais elevadas, com ocorrência de neve. No inverno, as médias mensais oscilam entre 10°C e 15°C, registrando temperaturas absolutas negativas. Observa-se uma considerável sazonalidade da temperatura, sendo o verão marcadamente de quente a fresco, e o inverno, de fresco a frio. No verão, as temperaturas médias mensais atingem de 26°C a 30°C, podendo chegar a 40°C em vales interioranos (ALVES; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2014).

As cidades abordadas neste estudo revelam características climáticas parecidas. Curitiba, localizada no Paraná a uma latitude de 25°31' Sul e altitude de 910 metros, apresenta médias de 22,5°C no verão e cerca de 13°C no inverno, sem estação seca e com precipitação

O Brasil, devido à sua vasta extensão territorial, apresenta diversas condições climáticas que variam de acordo com a localização. A Figura 2 ilustra a existência de seis tipos distintos de climas no país.

A variedade climática no Brasil é justificada, em parte, pela dinâmica das massas de ar, sendo a região sul do país caracterizada pelo predomínio do clima subtropical

média anual de 1515 mm. Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, a 30°1' Sul e 10 metros acima do nível do mar, tem médias de 15,5°C e 24,3°C no inverno e verão, respectivamente, com precipitação média anual de aproximadamente 1.370 mm. Florianópolis, em Santa Catarina, a 27°59' Sul e 3 metros acima do nível do mar, registra médias de 17,4°C e 23,4°C no inverno e verão, respectivamente, com média de precipitação anual de cerca de 1.615 mm (ALVES; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2014).

2.1.2 Trocas Térmicas

As trocas térmicas entre os corpos ocorrem devido a duas condições básicas: corpos a temperaturas diferentes e a mudança de estado de agregação (FROTA; SCHIFFER, 2001). Quando corpos a diferentes temperaturas interagem, ocorre a transferência de calor, sendo que os corpos mais quentes perdem calor, enquanto os mais frios ganham calor, mostrando que o fluxo térmico segue no sentido das temperaturas decrescentes (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Os processos conhecidos como trocas úmidas, ocorrem devido à mudança no estado da água, envolvendo os estados líquido e gasoso, e compreendem os fenômenos de evaporação e condensação. A evaporação é um mecanismo em que a água passa do estado líquido para o gasoso, requerendo um dispêndio de energia para a transição. Já a condensação refere-se à troca térmica úmida decorrente da mudança do vapor d'água, presente no ar, do estado gasoso para o líquido (FROTA; SCHIFFER, 2001).

As trocas térmicas que ocorrem devido a variações de temperatura são conhecidas como trocas secas, diferenciando-se das trocas úmidas, que envolvem a presença de água (FROTA; SCHIFFER, 2001). Os mecanismos de trocas secas compreendem convecção, radiação e condução.

A convecção ocorre quando os corpos estão em contato molecular, sendo pelo menos um deles um fluido. Esse processo envolve duas etapas: inicialmente, o calor se propaga por condução, posteriormente, a variação na temperatura do fluido altera sua densidade, desencadeando o movimento convectivo (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Na radiação térmica, o calor é transferido por meio de ondas eletromagnéticas entre corpos com diferentes temperaturas, sem que haja contato físico direto. É fundamental que o meio entre esses corpos seja transparente ou não absorvente e não seja significativamente aquecido (SUZUKI, 2012). Esse método de transferência resulta da natureza eletromagnética da energia, que, ao ser absorvida, desencadeia efeitos térmicos, possibilitando sua propagação sem depender de um meio material, ocorrendo até mesmo no vácuo (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Frota e Schiffer (2001) afirmam que a condução se refere à transferência de calor entre dois corpos em contato direto ou mesmo entre partes distintas do mesmo corpo que possuem temperaturas diferentes. Segue a Lei de Fourier, onde o fluxo térmico é proporcional à superfície pela qual o calor se propaga e ao gradiente de temperatura. A transferência de calor, em geral, ocorre de maneira unidirecional e persistente até que um equilíbrio de temperaturas seja alcançado (PIRES, 2013). Nesse mecanismo, a condutividade térmica, expressa em $W/m^{\circ}C$, é a principal característica do material na transmissão de calor (RIVERO, 1985 *apud* SUZUKI, 2012). Esse coeficiente representa a taxa de agitação atômica durante o processo de condução de calor, refletindo a habilidade do material em facilitar a transferência térmica.

De acordo com a norma NBR 15220-1 (2005), a taxa de transferência de calor, indicada como "Q" e medida em Watts (W), corresponde à quantidade de calor que perpassa uma superfície específica ao longo de um intervalo de tempo, dividida pela extensão desse intervalo.

A resistência térmica (R), expressa em m^2C/W , é uma propriedade intrínseca do material. Calculada pela divisão da espessura desse material pela sua condutividade térmica, a resistência térmica reflete a capacidade do material em retardar o fluxo de calor (SUZUKI, 2012). Já a resistência térmica total, representada pelo somatório das resistências térmicas das diversas camadas de um elemento ou componente, engloba também as resistências superficiais interna e externa. A transmitância térmica (U), também conhecida como Coeficiente Global de Transferência de Calor, corresponde ao inverso da resistência térmica total, expressa em W/m^2C (ABNT, 2005).

Existem dois tipos principais de calor: calor latente e calor sensível. O calor latente está associado a mudanças de estado físico e é calculado como a razão entre a quantidade de calor envolvida e a massa da substância, ocorrendo sem alteração de temperatura. Já o calor sensível ocorre entre duas porções de matéria com temperaturas diferentes e pode ser transferido por convecção, condução e radiação. Nesse caso, a quantidade de calor é determinada pela multiplicação da massa do corpo, seu calor específico e a variação de temperatura. (SCHMID, 2005 *apud* SUZUKI, 2012). O conforto em um ambiente é influenciado pela relação entre o ambiente, o ser humano e os aspectos de calor sensível e latente.

A capacidade térmica representa a quantidade de calor requerida para modificar em uma unidade a temperatura de um sistema (ABNT, 2005). Essa medida é expressa em joules por Kelvin (J/K). Por sua vez, o calor específico, também conhecido como capacidade térmica específica, é determinado pelo quociente entre a capacidade térmica e a massa, indicando a

quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1 g de uma substância em 1 K. Essa grandeza é medida em Joules por quilograma por Kelvin (J/(kg·K)) (SUZUKI, 2012).

Em conformidade com a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), o atraso térmico refere-se à transferência do calor armazenado em uma superfície para o ambiente durante um período específico de tempo, expresso em horas. A inércia térmica é um dos fatores que afetam o atraso térmico, e sua aplicação contribui para retardar esse processo, reduzindo os picos de calor. A inércia térmica está intrinsecamente ligada ao desempenho térmico da edificação, sendo influenciada pelas propriedades da envoltória (composta pelos sistemas de vedação externa e coberturas) e pelos componentes construtivos internos. Densidade, condutibilidade térmica e capacidade calorífica desses elementos desempenham um papel crucial na determinação da inércia térmica (PIRES, 2013).

Em edificações com baixa inércia térmica, a variação de temperatura interna acompanha de perto as mudanças de temperatura externa. Por outro lado, em construções com inércia térmica elevada, a temperatura interna apresenta menor variação, aproximando-se de uma condição constante. O aumento da inércia na construção contribui para um atraso térmico mais pronunciado (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Emissividade é o quociente entre a taxa de radiação emitida por uma superfície e a taxa de radiação emitida por um corpo negro à mesma temperatura (ABNT, 2005), e é uma medida que varia de 0 a 1. Segundo Soisson (1975, *apud* SUZUKI, 2012), um corpo negro, considerado um irradiador perfeito de energia, possui emissividade igual a 1.

2.1.3 Índices de Conforto Térmico

Para mensurar a percepção térmica humana, diversos autores desenvolveram escalas e índices para identificar zonas de conforto térmico. Essas ferramentas visam atender às necessidades da maioria das pessoas em uma determinada situação, levando em conta que o conforto térmico é uma avaliação individual e subjetiva. As zonas são estabelecidas por meio de cartas, diagramas e monogramas, relacionando as sensações de conforto e desconforto térmico às variações geradas pela temperatura (PIRES, 2013).

O diagrama de conforto térmico, desenvolvido pelos irmãos Olgyay na década de 60, é organizado em relação à temperatura do bulbo seco e à umidade relativa do ar, utilizando dados de temperatura de várias estações do ano (PIRES, 2013). Elaborado especialmente para áreas com clima quente e úmido, assim como para regiões temperadas, levando em conta as temperaturas médias do verão. Tal abordagem possibilita a definição de estratégias adaptadas

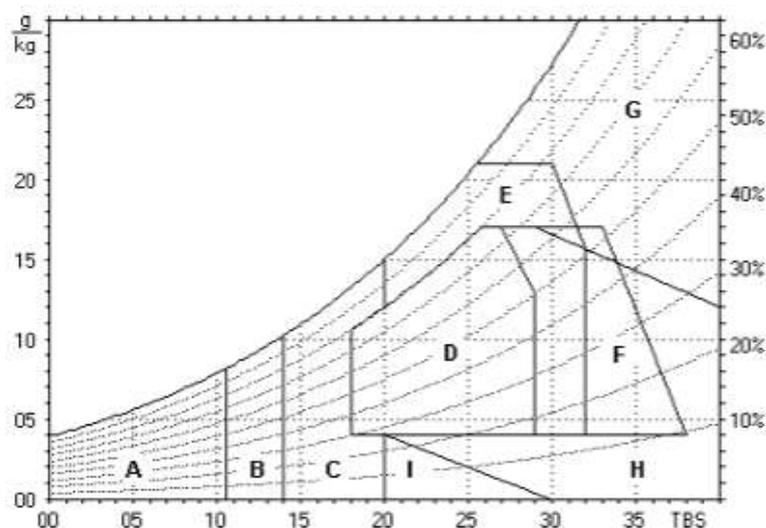
para diversas regiões, divididas em zonas de conforto, oferecendo diretrizes detalhadas para o planejamento arquitetônico (RUSSI *et. al.*, 2012).

Em 1969, Givoni aprimorou o diagrama bioclimático de Olgay ao desenvolver uma carta bioclimática que utiliza as temperaturas internas dos edifícios como base (RUSSI *et. al.*, 2012). Posteriormente, em 1979, Milne e Givoni expandiram essa carta ao integrar estratégias bioclimáticas, estabelecendo os limites de eficácia para cada estratégia. Em 1992, Givoni atualizou novamente a carta ao perceber que as populações em países subdesenvolvidos, com climas quentes e úmidos, não se beneficiavam das diretrizes estabelecidas anteriormente. Propôs, então, a criação de duas cartas bioclimáticas distintas: uma para regiões de clima temperado e outra para países com climas quentes e úmidos (SUZUKI, 2012).

As tabelas concebidas por Carl Mahoney foram encomendadas pela ONU durante a década de 70. Quando alimentadas com dados climáticos específicos de cada localidade, fornecem diretrizes sobre a orientação solar ideal, o formato e a estrutura mais adequados para as fases iniciais de um projeto. Uma grande vantagem dessas tabelas é sua capacidade de dispensar suposições preliminares, basta utilizar os dados inseridos nas tabelas juntamente com os valores de conforto limite recomendados para cada região (RUSSI *et. al.*, 2012).

A Figura 3 representa a carta bioclimática que foi elaborada a partir do diagrama psicrométrico, onde linhas são traçadas para representar os seguintes parâmetros:

Figura 3 - Carta Bioclimática para o Brasil com delimitações de estratégias



Fonte: RORIZ *et al.*, 1999, adaptado de LINCZUK, 2020

- **Temperatura de bulbo seco (TBS):** representada no diagrama psicrométrico por linhas verticais, essa medida é obtida por meio de um termômetro equipado com dispositivo

de proteção contra a influência da radiação térmica (ABNT, 2005). Também conhecida como temperatura ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2016).

- **Temperatura de bulbo úmido (TBU):** indicada no diagrama psicrométrico por linhas transversais, essa temperatura é medida por um termômetro de mercúrio com o bulbo envolto por um pano úmido, imerso em recipiente contendo água limpa à temperatura ambiente (LAMBERTS *et al.*, 2016).

- **Umidade relativa (UR):** no diagrama psicrométrico, essa grandeza é representada por linhas curvas, variando 10% entre as linhas até atingir 100%. A umidade relativa expressa a relação entre a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado para a mesma temperatura e pressão (ABNT, 2005). Em outras palavras, é a proporção de vapor de água presente no ar em relação à quantidade máxima de vapor que o ar poderia conter sob aquela temperatura específica. A umidade relativa é inversamente proporcional à temperatura do ar, portanto, o aumento da temperatura resulta em uma diminuição na umidade relativa (ALVES; MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2014).

Conforme ilustrado na Figura 3, a carta bioclimática é segmentada em 9 zonas distintas (de A a I), cada uma correspondendo a uma estratégia bioclimática específica, como descrito a seguir:

A. Zona de aquecimento artificial: localizada em locais com temperaturas abaixo de 10°C, a estratégia principal envolve o uso de aquecimento artificial devido à insuficiência do aquecimento solar passivo para aquecer o ambiente. É aconselhável combinar o aquecimento solar passivo com o artificial para reduzir os gastos energéticos. O isolamento das paredes e coberturas dos ambientes aquecidos é essencial para evitar perdas de calor para o ambiente externo (LAMBERTS *et al.*, 2016).

B. Zona de aquecimento solar passivo: com temperaturas entre 10°C e 14°C, é recomendado o uso de isolamento térmico eficiente na edificação para minimizar as perdas de calor para o exterior. Recomenda-se o planejamento de grandes aberturas envidraçadas voltadas para o sol, enquanto nas demais orientações as aberturas devem ser reduzidas, implementação de sistemas de aquecimento solar passivo, como a Parede Trombe, orientação adequada da edificação, seleção de cores que maximizem os ganhos de calor e coletores de calor no telhado (LAMBERTS *et al.*, 2016).

C. Zona de massa térmica para aquecimento solar (14°C a 20°C): pode-se aproveitar a massa térmica de duas formas: armazenando calor durante o dia para liberá-lo à noite ou utilizando-a como isolante para reduzir perdas de calor. Recomenda-se componentes

construtivos com maior inércia térmica, juntamente com aquecimento solar passivo e isolamento térmico, para otimizar o desempenho térmico (LAMBERTS *et al.*, 2016).

D. Zona de conforto térmico: é alta a probabilidade de as pessoas se sentirem confortáveis em relação à temperatura. As temperaturas flutuam entre 18 °C e 29 °C, enquanto a umidade varia de 20% a 80% (LAMBERTS *et al.*, 2016).

E. Zona de ventilação: recomendada para climas quentes e úmidos, especialmente eficaz em temperaturas superiores a 32 °C ou quando a umidade ultrapassa os 80%. As soluções arquitetônicas típicas incluem a ventilação cruzada, a ventilação da cobertura e a ventilação do piso sob a edificação que permitem a circulação de ar entre diferentes pontos do ambiente, isso proporciona um resfriamento natural. Para climas áridos, a ventilação é aconselhável principalmente durante a noite (LAMBERTS *et al.*, 2016).

F. Zona de massa térmica de refrigeração: a estratégia é empregada para reduzir a variação térmica dentro da edificação, sendo especialmente útil em locais com grandes variações de temperatura ao longo do dia. O uso de materiais de construção com alta capacidade térmica diminui a diferença de temperatura entre o interior e o exterior, tornando os picos de temperatura externa menos perceptíveis internamente. Esses materiais são recomendados em climas quentes e secos, onde as temperaturas diurnas são elevadas e as noturnas são baixas. Sua capacidade térmica permite retardar a transferência de calor para o interior, resultando em um aquecimento mais gradual durante a noite, quando necessário (LAMBERTS *et al.*, 2016).

G. Zona artificial de refrigeração: destinada a temperaturas de bulbo seco acima de 44°C, onde o resfriamento artificial se torna necessário quando as técnicas de ventilação, resfriamento evaporativo e uso de massa térmica não são capazes de proporcionar o conforto desejado. Para reduzir o consumo de energia, é sugerido combinar o ar-condicionado com sistemas de climatização passiva (LAMBERTS *et al.*, 2016).

H. Zona de resfriamento evaporativo: a estratégia é destinada a climas quentes e secos com temperaturas de bulbo seco de até 44°C ou de bulbo úmido de até 24°C. Utiliza-se a evaporação da água para reduzir a temperatura e aumentar a umidade relativa do ar. Esta técnica é aconselhável quando há ventilação adequada do ambiente para evitar o acúmulo de vapor d'água no interior. O resfriamento evaporativo pode ser alcançado por meio da vegetação, fontes de água ou indiretamente por meio de tanques de água posicionados à sombra no telhado (LAMBERTS *et al.*, 2016).

I. Zona de umidificação do ar: aplicada em ambientes com baixa umidade relativa média diária do ar (inferior a 20%) e temperatura entre 20°C e 27°C, recorre-se à umidificação para aumentar a umidade do ambiente. Esta técnica envolve a presença de recipientes com água

ou vegetação dentro da edificação, juntamente com a utilização de aberturas herméticas para evitar a perda de umidade para o exterior (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Já a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), segmenta o território nacional em oito Zonas Bioclimáticas, como mostrado na Figura 1, fornecendo orientações específicas de planejamento para cada região. Seu principal propósito é facilitar a formulação de estratégias que atendam às exigências de conforto dos usuários. As orientações construtivas sugeridas abarcam aspectos como a definição das dimensões das aberturas para ventilação, métodos de proteção dessas aberturas, tipos de revestimento externo e técnicas de conforto térmico passivo. As Zonas Bioclimáticas 1, 2 e 3 estão associadas ao clima subtropical e abrangem áreas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, parte do Paraná e de São Paulo.

2.1.4 Desempenho Térmico

Para garantir que as necessidades térmicas dos usuários sejam atendidas diante das condições climáticas locais, é essencial avaliar o desempenho térmico de uma edificação. Esse processo envolve examinar como a edificação responde aos requisitos estabelecidos em relação ao conforto térmico (PEREIRA E NETO, 1988, *apud* LAMBERTS *et al.*, 2010). Diversos fatores influenciam o desempenho térmico da edificação, tais como o tipo de material e cor utilizados, a orientação, a presença de isolamento térmico, as cargas térmicas internas geradas pelo uso dos ambientes, o tipo e área das aberturas, bem como a adoção de estratégias bioclimáticas (PIRES, 2013).

Conforme Lamberts *et al.* (2010) é essencial distinguir entre desempenho térmico e comportamento térmico de uma edificação. O comportamento térmico refere-se à reação física da edificação às condições climáticas externas e de uso interno, incluindo a geração de calor pelos ocupantes e equipamentos. Essa resposta pode ser observada através de variações de temperatura, umidade e fluxos de calor nas superfícies. Ao comparar esses aspectos com critérios de referência para atender às necessidades dos usuários em termos de conforto, é possível avaliar o desempenho térmico.

Em residências, os ganhos de calor provenientes das superfícies externas e das aberturas desempenham um papel significativo no comportamento térmico. A exposição à luz solar e à ventilação também é crucial nesse cenário. Assim, o projeto residencial apresenta oportunidades importantes para incorporar estratégias bioclimáticas, aproveitando ao máximo a iluminação e ventilação naturais, além de escolher materiais construtivos apropriados para o contexto climático específico (LAMBERTS *et al.*, 2010)

A normalização da avaliação do desempenho térmico em edificações no Brasil teve início em 2005, com a NBR 15220 para avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos, e avançou com a NBR 15575 (ABNT, 2010), que aborda o desempenho de edificações de até cinco pavimentos, incluindo uma seção específica para avaliação térmica de componentes e edificações (PIRES, 2013). Essa NBR se divide em Parte 1: Requisitos gerais; Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos; Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas; Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas e; Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. A NBR 15220-3 é uma referência crucial para a implementação de estratégias bioclimáticas em projetos de edificações, sendo baseada na carta bioclimática de Givoni e nas planilhas de Mahoney (LAMBERTS *et al.*, 2010).

2.1.5 Eficiência Energética

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020), eficiência energética envolve a busca por um desempenho otimizado em atividades como a produção de bens ou serviços, reduzindo o consumo de energia sem prejudicar a qualidade ou o conforto. No contexto de edificações, isso se traduz em um menor consumo de energia em comparação com outras estruturas sob as mesmas condições (LAMBERTS *et. al*, 2014).

A Lei 10.295/2001, também conhecida como a "Lei de Eficiência Energética", reconhece a importância das edificações brasileiras no consumo de energia. Em seu artigo 40, destaca as edificações como uma área prioritária para a atenção do poder Executivo na promoção de mecanismos de eficiência energética. Isso inclui a necessidade de avaliação energética e regulamentação para as edificações (EPE, 2020).

A criação do Procel Edifica pela ELETROBRAS/PROCEL em 2003 proporcionou uma oportunidade única para a colaboração entre diversos setores, incluindo universidades, centros de pesquisa e entidades governamentais, tecnológicas, econômicas e de desenvolvimento (LAMBERTS, 2010). Esse esforço conjunto visa promover o uso racional da energia elétrica em edificações, buscando soluções para aumentar a eficiência energética e reduzir o consumo de eletricidade.

A otimização da eficiência térmica na construção de edifícios desempenha um papel fundamental na redução da necessidade de sistemas de condicionamento de ar ativos. Conforme destacado por Okeil (2010, *apud* PIRES, 2013), a aplicação de conceitos bioclimáticos oferece uma abordagem eficaz para melhorar o desempenho energético das edificações. Isso envolve a adoção de estratégias que aproveitam o calor e o resfriamento naturais, além da maximização

da iluminação e ventilação naturais. Essas medidas não apenas promovem o conforto dos ocupantes, mas também contribuem significativamente para a redução do consumo de energia associado aos sistemas convencionais de climatização.

2.2 CONDICIONAMENTO TÉRMICO PASSIVO

O condicionamento térmico passivo é uma abordagem de projeto que visa aproveitar as condições climáticas estrategicamente para manter determinadas temperaturas no interior da edificação, sem depender de sistemas mecânicos de aquecimento ou resfriamento. Estratégias incluem o uso da luz solar para aquecimento, ventilação cruzada para resfriamento natural e aberturas para controle da entrada de luz e ar fresco. A escolha de materiais e técnicas construtivas apropriadas é crucial para o sucesso dessas estratégias, juntamente com orientações aos usuários sobre sua utilização eficiente (VIEIRA; SANTOS, 2014).

Segundo Lamberts et. al. (2014), o condicionamento passivo, fundamental para a eficiência energética, está recebendo destaque levando muitos profissionais a resgatar estratégias tradicionais que foram negligenciadas em um período de menor preocupação com a questão energética.

Susan Roaf (2012 *apud* LINCZUK, 2020) ressalta a necessidade de reavaliar tanto o projeto quanto a operação dos edifícios, especialmente diante das mudanças climáticas e da escassez de recursos energéticos provenientes de combustíveis fósseis. A autora sugere a implementação de melhorias no desempenho passivo dos edifícios, incluindo o retorno a projetos que favoreçam a ventilação natural, a redução da dependência de sistemas mecânicos e a adoção de sistemas híbridos, preferencialmente impulsionados por energias renováveis.

2.2.1 Bioclimatologia

A bioclimatologia é um campo de estudo dedicado à análise das interações entre a climatologia e os seres vivos, incluindo o entendimento dos elementos meteorológicos e as respostas fisiológicas e comportamentais humanas, visando aprimorar o conforto térmico (RUSSI *et al.*, 2012). Segundo Lamberts *et al.* (2016), esse ramo investiga as relações entre o clima e os seres humanos.

As demandas por conforto térmico são influenciadas pelos diferentes ambientes dentro das edificações, os quais, devido às atividades comuns realizadas neles, podem apresentar requisitos distintos de conforto. Essas atividades incluem períodos de sono, preparo de alimentos, higiene e interações sociais. Assim, a seleção das estratégias bioclimáticas

apropriadas deve levar em consideração o horário de ocupação dos ambientes ao longo do dia e as variações sazonais (PIRES, 2013).

Para Lamberts *et al.* (2016) a classificação das escalas climáticas pode variar entre diferentes autores, mas em geral inclui o macroclima, o mesoclima e o microclima. No macroclima, são analisadas as características climáticas de uma região em larga escala, geralmente monitoradas por estações meteorológicas. O mesoclima e o microclima, por outro lado, consideram as variações locais na radiação solar, temperatura do ar, umidade e vento. O microclima pode ser influenciado tanto pelo mesoclima quanto por fatores específicos da localização da edificação e seu entorno, como a geometria da construção e a presença de vegetação próxima.

A arquitetura bioclimática é um campo que busca integrar as edificações ao ambiente circundante, aproveitando os recursos naturais disponíveis, como a luz solar e os ventos predominantes. Isso inclui estratégias como a orientação inteligente dos edifícios, o uso eficiente da energia solar e a criação de microclimas por meio de elementos naturais, como vegetação e água (VIEIRA; SANTOS, 2014). Em essência, é uma abordagem que visa maximizar o aproveitamento das condições naturais do local de construção para garantir conforto e eficiência energética.

2.2.2 Estratégias de Condicionamento Térmico Passivo

As abordagens de projeto consideram as questões da análise bioclimática, visando alcançar resultados desejáveis por meio do estudo de cada alternativa disponível. Conforme indicado por Lambert *et al.*, 2014, é fundamental selecionar e incorporar técnicas bioclimáticas desde as fases iniciais do processo. As estratégias passivas desempenham um papel central nesse contexto, constituindo elementos essenciais de um projeto bioclimático.

Estas estratégias têm como objetivo minimizar o consumo de energia para o condicionamento térmico, aproveitando ao máximo os recursos naturais disponíveis. Isso requer uma compreensão das condições climáticas locais, das características do terreno e do entorno imediato da edificação (LINCZUK, 2020). As estratégias mais comuns incluem o uso de ventilação cruzada, a exploração da inércia térmica dos materiais, o emprego de sombreamento eficaz e a maximização da iluminação natural. Essa abordagem integrada busca criar ambientes construídos confortáveis e energeticamente eficientes.

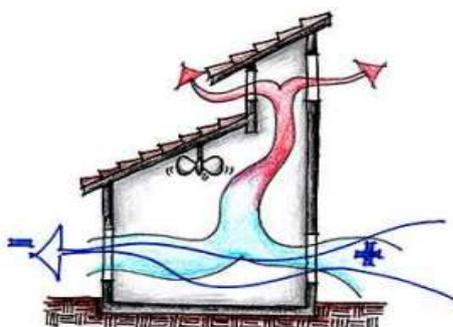
2.2.2.1 Ventilação

A ventilação natural dentro de uma edificação acontece devido à diferença de pressão do ar entre o interior e o exterior, o que promove a substituição do ar interno, geralmente mais quente, pelo ar externo, que é mais frio (LAMBERTS *et al.*, 2016). Diversos elementos influenciam essa circulação de ar, incluindo a forma, localização e orientação da edificação, as características específicas das aberturas e os padrões de vento.

Conforme mencionado por Lambert *et al.* (2014), a ventilação pode desempenhar três funções distintas em relação ao ambiente construído: renovação do ar, resfriamento psicofisiológico e resfriamento convectivo. De acordo com Frota e Schiffer (2001), ela ocorre por meio dos mecanismos da ação dos ventos e da circulação induzida. Na ação dos ventos, o ar em movimento entra pelas aberturas sujeitas a pressões positivas e sai pelas aberturas sujeitas a pressões negativas. Isso configura dois tipos principais de ventilação passiva: a ventilação cruzada e a ventilação por efeito chaminé. Essas estratégias podem ser adotadas em conjunto para otimizar o conforto térmico e a qualidade do ar dentro de um ambiente construído. É essencial que as edificações possuam passagens internas livres para a circulação do ar. Em áreas onde as aberturas da edificação não estão alinhadas com os ventos dominantes, o uso de vegetação pode facilitar a circulação do ar em áreas menos favorecidas.

O fenômeno conhecido como efeito chaminé, ilustrado na Figura 4 ocorre devido à diferença de densidade do ar. Quando o ar é aquecido por uma fonte de calor dentro da edificação, sua temperatura aumenta e sua densidade diminui, fazendo com que ele se eleve. Caso haja uma abertura no ponto mais alto da edificação, o ar quente terá uma rota de escape. Para que o efeito chaminé ocorra efetivamente, é crucial que existam aberturas próximas ao nível do solo e aberturas próximas ao teto. Quanto mais próximas estiverem essas aberturas do piso e do teto, maior será a eficácia das trocas de ar.

Figura 4 - Ventilação passiva com efeito chaminé

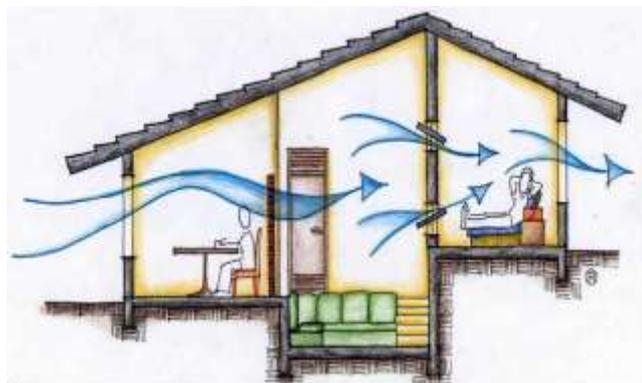


Fonte: PROJETEEE, 2024

Para aproveitar ao máximo os ventos locais, é essencial planejar o trajeto que eles percorrerão. Portanto, é necessário garantir a presença de uma entrada e uma saída de ar, como

é possível visualizar na Figura 5, preferencialmente posicionadas na direção dos ventos, de modo a evitar a perda significativa de sua velocidade (VIEIRA; SANTOS, 2014).

Figura 5 - Ventilação com entradas e saídas de ar



Fonte: PROJETEIII, 2014 *apud* VIEIRA; SANTOS, 2014

É possível instalar ventilações internas que se conectam ao sótão (Figura 6), criando assim um efeito semelhante ao da chaminé. No entanto, durante os períodos frios, é recomendável manter essas ventilações fechadas, para permitir que os ganhos de calor provenientes da radiação solar atinjam o nível dos usuários, aquecendo assim o ambiente (CUNHA et. al., 2006, *apud* VIEIRA; SANTOS, 2014)

Figura 6 - Ventilação no sótão



Fonte: PROJETEIII, 2014 *apud* VIEIRA; SANTOS, 2014

Os dutos de ventilação são uma estratégia amplamente empregada em edifícios de vários pavimentos, sejam eles comerciais ou residenciais. Eles são utilizados para ventilar áreas como antecâmaras e outros espaços isolados dentro de grandes edificações. Para garantir uma ventilação eficaz, constrói-se o duto de ventilação com dimensões adequadas, muitas vezes passando por baixo da estrutura do edifício e emergindo na superfície em um ponto estratégico específico (VIEIRA; SANTOS, 2014).

A ventilação noturna, também conhecida como ventilação estrutural, pode ser uma estratégia eficaz para reduzir a temperatura interna de um edifício durante a noite, quando o ar externo está mais frio do que o ar interno. Em residências, essa técnica pode melhorar as

condições de conforto durante a noite, enquanto em edifícios comerciais e públicos, que geralmente têm baixa ocupação durante a noite, a ventilação noturna é uma ferramenta valiosa para resfriar a estrutura do edifício. Edifícios com alta inércia térmica se beneficiam mais dessa abordagem, pois mantêm a temperatura de elementos estruturais, como lajes, paredes e vigas, mais baixa, o que reduz os picos de temperatura no dia seguinte (LAMBERTS et. al, 2014).

2.2.2.2 Cor

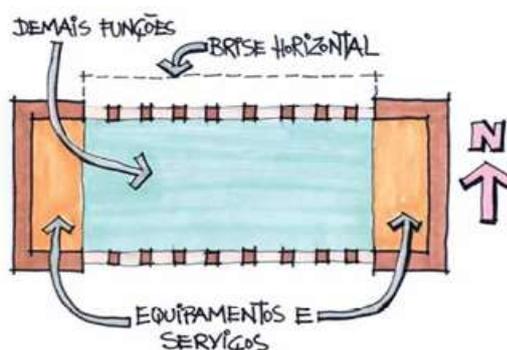
Conforme discutido por Givoni (1998) *apud* Pires (2013), o efeito da radiação solar sobre o revestimento de uma construção está ligado à sua capacidade de absorção, conhecida como absorvância (α). Essa medida indica quanto da energia solar incidente é absorvida ou refletida pela superfície, impactando diretamente nos ganhos de calor e nas temperaturas internas do edifício. No entanto, o autor ressalta que a relevância da absorvância varia conforme os ângulos de incidência solar sobre as diferentes partes da construção, como telhados e paredes, em diferentes orientações.

Para Lamberts et. al, (2014), a escolha de cores escuras para as superfícies exteriores pode aumentar a absorção de calor solar, sendo útil em regiões onde o aquecimento é necessário. Por outro lado, o uso de cores claras nas superfícies externas da edificação aumenta a reflexão da radiação solar, diminuindo os ganhos de calor pelos fechamentos opacos. Internamente, cores claras refletem mais luz, o que pode ser aproveitado em sistemas de iluminação, sejam eles naturais ou artificiais.

2.2.2.3 Orientação Solar

A disposição do edifício em relação ao sol desempenha um papel fundamental no projeto arquitetônico, influenciando diretamente a quantidade de luz solar que incide sobre ele. A orientação norte é preferencial para aproveitar a luz natural, como demonstrado na Figura 7, devido à sua exposição frequente à luz solar direta. Controlar a sombra nas aberturas voltadas para o norte é relativamente simples, apesar do calor associado à luz solar. A orientação sul oferece uma luz consistente e de alta qualidade, especialmente para iluminação com luz branca fria. Além disso, é menos propensa a problemas de ofuscamento causados pela luz solar direta. Em contrapartida, as orientações leste e oeste são menos ideais, pois recebem luz solar direta com maior intensidade no verão e menor no inverno, o que torna desafiador o projeto de proteções solares devido aos ângulos de incidência solar mais rasos (LAMBERTS et. al, 2014).

Figura 7 - Planta com orientação ideal em termos de iluminação natural



Fonte: LAMBERTS et. al, 2014

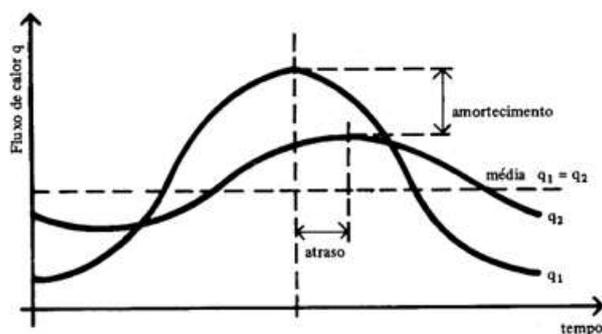
Outro aspecto relevante relacionado à orientação do edifício diz respeito à saúde, devido aos efeitos germicidas da radiação solar, e à circulação de ventos. Além disso, questões como privacidade, vistas panorâmicas e redução de ruído também podem influenciar na decisão sobre a orientação ideal da edificação (LINCZUK, 2020).

2.2.2.4 Inércia Térmica

O princípio da massa térmica fundamenta-se na capacidade das estruturas construtivas de acumular calor, retardando assim sua entrada e reduzindo a flutuação térmica no interior do edifício. Essa característica minimiza os extremos de temperatura, ao absorver e armazenar consideráveis quantidades de calor dentro da massa, para posteriormente liberá-lo gradualmente, suprimindo as necessidades térmicas do ambiente construído (PIRES, 2013).

Segundo Frota e Schiffer (2001), a inércia térmica está associada a dois fenômenos essenciais para o comportamento térmico de uma edificação: o amortecimento e o atraso da onda de calor, resultantes do aquecimento ou resfriamento dos materiais. A inércia térmica depende das propriedades térmicas da envoltória e dos componentes construtivos internos. Quando a temperatura externa, inicialmente igual à temperatura interna, aumenta, ocorre uma penetração de calor na parede. Esse calor não atravessa a parede instantaneamente, em vez disso, aquece-a internamente primeiro. Esse processo, comparado a uma parede fictícia sem peso, tem um certo atraso e é amortecido ao atravessar a parede, como demonstrado na Figura 8. O atraso e o amortecimento, juntos, constituem a inércia térmica, a qual é determinada pela densidade, condutividade térmica e capacidade calorífica da parede.

Figura 8 - Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q_2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q_1)



Fonte: Frota e Schiffer, 2001

Segundo Cunha *et al.* (2006) *apud* Pires (2013), existem duas formas comuns de isolamento térmico para adequar passivamente uma edificação: isolamento por inércia e isolamento por resistência. O isolamento por inércia é alcançado através do uso de paredes com considerável massa, retardando assim a entrada e saída de calor e suavizando as variações diárias de temperatura. Por outro lado, no isolamento por resistência, são utilizadas paredes leves e isolantes que oferecem resistência às perdas térmicas.

Conforme a Figura 9, para Lamberts *et al.* (2014) a inércia térmica pode ser aproveitada tanto para aquecer quanto para resfriar, dependendo das condições climáticas e das necessidades específicas do edifício em questão. No uso da inércia térmica para aquecimento, são empregados fechamentos opacos mais espessos e uma maior área de aberturas orientadas para o sol. Essa estratégia permite que o calor recebido durante o dia seja armazenado pelos fechamentos e transferido para o interior do ambiente durante a noite, quando as temperaturas tendem a ser mais baixas. Nesse contexto, é recomendado o uso de componentes construtivos com maior capacidade de inércia térmica, juntamente com sistemas de aquecimento solar passivo e isolamento térmico (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Em contrapartida, em regiões onde o resfriamento é prioritário, a abordagem passiva da inércia térmica implica no sombreamento das aberturas para impedir a entrada de calor durante o dia, quando as temperaturas estão mais elevadas. Durante a noite, a ventilação natural é realizada seletivamente para dissipar o calor acumulado ao longo do dia. Componentes construtivos com alta capacidade térmica são especialmente recomendados para climas quentes e secos, nos quais as temperaturas diurnas são muito altas e as noturnas são extremamente baixas. Nesse cenário, a capacidade térmica desses componentes permite um atraso na transferência de calor para o interior do ambiente, ocorrendo somente durante a noite, quando há demanda por aquecimento (LAMBERTS *et al.*, 2014)

Figura 9 - Inércia térmica para resfriamento ou aquecimento



Fonte: LAMBERTS et. al., 2014

2.2.2.5 Resfriamento evaporativo e umidificação

O resfriamento evaporativo é um processo que se fundamenta na evaporação da água para extrair calor do ambiente ou da superfície sobre a qual ocorre a evaporação. A eficácia desse resfriamento é diretamente influenciada pela rapidez da evaporação, sendo que quanto mais rápida, maior a redução da temperatura (PROJETEEEE, 2018). Essa estratégia é empregada para aumentar a umidade relativa do ar e diminuir sua temperatura. O resfriamento evaporativo pode ser alcançado de forma direta ou indireta (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Na abordagem direta, o resfriamento pode ser alcançado com superfícies gramadas ou arborizadas ao sol, que absorvem calor para a fotossíntese e evaporação da água, criando um microclima fresco. Adicionalmente, o resfriamento evaporativo de superfícies edificadas reduz a temperatura dos prédios. Telhas cerâmicas não vitrificadas absorvem água da chuva e do sereno, através da sua porosidade, evaporando-a com o sol, diminuindo os ganhos térmicos por condução. É possível umedecer o telhado em dias quentes para otimizar o efeito. Além disso, revestir as paredes externas com vegetação, como trepadeiras, também reduz a temperatura por meio da evapotranspiração do vegetal e sombreamento solar (LAMBERTS *et al.*, 2014).

No resfriamento evaporativo indireto, quando o ambiente a ser resfriado e a fonte de água estão separados, soluções arquitetônicas são empregadas, como a instalação de um tanque de água sobre o telhado ou um jardim (SUZUKI, 2012). Com a luz solar, a evaporação da água ou a evapotranspiração das plantas retiram calor da cobertura, resfriando o teto e reduzindo a temperatura média radiante do interior do ambiente.

Em regiões onde a umidade do ar é muito baixa, abaixo de 20%, pode-se enfrentar desconforto devido à secura excessiva, manifestada por mucosas ressecadas e sinais de desidratação. Para mitigar esse problema, é recomendada a estratégia de umidificação, especialmente quando a temperatura ambiente é inferior a 27°C (LAMBERTS *et al.*, 2014).

Recursos simples, como recipientes com água no ambiente interno, podem elevar a umidade relativa do ar, assim como a vedação hermética, que conserva a umidade, juntamente com o vapor de água proveniente de atividades domésticas ou de plantas.

2.2.2.6 *Aquecimento solar passivo*

O aquecimento solar passivo é uma estratégia que aproveita a radiação solar direta para aquecer a edificação, podendo ser direto ou indireto. No aquecimento solar direto, a radiação solar entra diretamente no ambiente através de aberturas ou superfícies transparentes, sendo absorvida por essas superfícies e refletida pelas internas, mantendo-se dentro da construção (PROJETEEE, 2018).

No sistema de ganho indireto, uma massa térmica com elevada inércia, localizada entre a superfície que recebe o calor (como uma superfície translúcida ou transparente) e o espaço a ser aquecido, exposta diretamente aos raios solares. Esses componentes retêm o calor absorvido e o liberam gradualmente para o ambiente em momentos de temperaturas mais baixas (VIEIRA; SANTOS, 2014).

O aquecimento solar passivo é uma solução prática e de fácil aplicação, sendo amplamente utilizado em ambientes que necessitam de aquecimento ou resfriamento. Segundo Pires (2013), pode ser implementado através do isolamento térmico do edifício, do uso de cores absorventes nas fachadas e fechamentos, ou da instalação de captadores de calor no telhado.

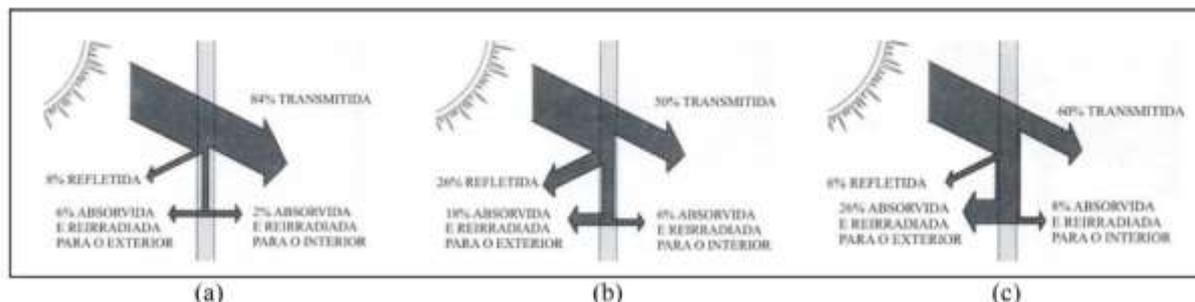
2.2.2.7 *Esquadrias*

As esquadrias desempenham um papel crucial no desempenho térmico de uma edificação, pois são o elemento com maior transmitância térmica no envelope. Aumentar a área das esquadrias pode melhorar a luminosidade e ventilação interna, mas também aumenta a transmissão de calor (BAKER, 2009 *apud* PIRES, 2013). As decisões relacionadas à orientação solar, área, tipo de moldura da janela e tipo de protetor solar têm um impacto significativo no desempenho térmico das esquadrias.

Existem diversos tipos de vidros, classificados quanto ao tipo, forma, transparência e acabamento da superfície. Podem ser simples, duplos ou de múltiplos painéis. Os vidros duplos oferecem maior resistência térmica e redução na transmitância visível, enquanto os de múltiplos painéis têm ainda maior resistência térmica. Vidros coloridos, termo-absorventes e refletores podem contribuir para a eficiência energética da edificação, impedindo a passagem completa da radiação solar para o interior (LAMBERTS *et al.*, 2016). A Figura 10 ilustra a transmissão

de energia através de três tipos de vidro, sendo possível notar que o vidro do tipo transparente e transmite a maior parte da energia solar para o ambiente interior.

Figura 10 - Transmissão de energia solar através de três tipos de vidro: (a) transparente, (b) reflexivo, e (c) termo-absorvente



Fonte: CARMODY *et al.*, 2000, *apud* PIRES, 2013

As esquadrias de PVC, feitas de Policloreto de Vinila, são altamente recomendadas para proporcionar altos níveis de conforto, devido à sua excelente vedação e ao alto desempenho térmico e acústico. Isso se deve ao processo de fabricação, que envolve solda térmica e vedação, formando um bloco único sem frestas, o que retarda ao máximo a troca de calor entre os ambientes interno e externo. Os perfis de PVC geralmente possuem de uma a três câmaras, projetadas para garantir estanqueidade e isolamento termoacústico (VIEIRA; SANTOS, 2014).

2.2.2.8 Fechamento Vertical

O fechamento vertical, que compreende as paredes, requer um projeto cuidadoso para controlar efetivamente os ganhos e perdas de temperatura, bem como a exposição solar e está estreitamente ligada ao conceito de inércia térmica (VIEIRA; SANTOS, 2014).

Paredes de tijolos maciços em configuração dupla são uma escolha prática, oferecendo uma excelente capacidade de aproveitamento da inércia térmica. Essas paredes apresentam um considerável atraso térmico devido à presença de uma camada de ar entre os dois painéis, o que reduz a transferência de calor para o interior dos ambientes. Além disso, essa configuração ajuda a evitar a entrada de umidade. Para aprimorar ainda mais o desempenho térmico, pode-se adicionar parcialmente um material isolante, como lã mineral, poliéster ou EPS, dentro da câmara de ar (VIEIRA; SANTOS, 2014).

2.2.2.9 Brise

O *brise-soleil* é uma estratégia arquitetônica para reduzir a incidência solar direta em edifícios, proporcionando conforto térmico. Concebido no século XX, tornou-se um ícone da arquitetura modernista brasileira. Em climas subtropicais, é uma solução eficaz para controlar

a exposição solar (VIEIRA; SANTOS, 2014). A eficiência de um *brise-soleil* está diretamente relacionada ao seu tipo e dimensões, que devem ser escolhidos de acordo com o objetivo de bloquear a entrada de raios solares no período desejado (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Esses dispositivos podem ser produzidos usando uma variedade de materiais, como madeira, concreto, alumínio, zinco, vidro, lonas, entre outros. As lâminas podem ser posicionadas de forma horizontal, vertical ou em combinação, sendo fixas ou móveis (LAMBERTS *et al.*, 2016). A escolha do material, posicionamento e espaçamento das lâminas é determinada pela análise da incidência solar, das necessidades de proteção solar e dos objetivos estéticos.

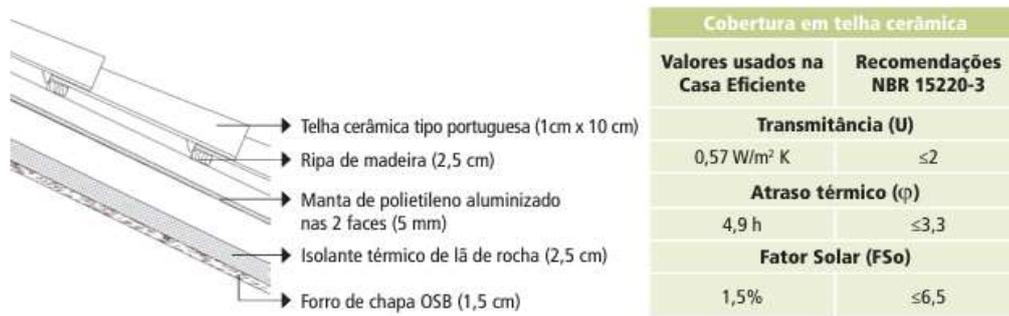
Para diferentes alturas do sol, são recomendados tipos específicos de *brise-soleil*. As lâminas horizontais são ideais para alturas solares elevadas, enquanto as verticais são mais eficazes para proteger contra a incidência solar oblíqua da fachada (norte, sul, sudeste, nordeste e sudoeste) e têm eficácia limitada nas fachadas voltadas para leste e oeste (VIEIRA; SANTOS, 2014). O *brise-soleil* combinado é adequado para diversas orientações, embora possa reduzir a entrada de luz natural (LAMBERTS *et al.*, 2016).

2.2.2.10 Coberturas

As coberturas podem ter diferentes inclinações e serem construídas com uma variedade de materiais, como telhas, lajes impermeabilizadas ou camadas vegetais. Telhas de fibrocimento, cerâmica, concreto, metal e ecológicas, feitas de fibras naturais recicladas, são comuns no mercado. O desempenho térmico desses materiais varia conforme sua composição, tonalidade, superfície externa e ventilação no espaço do ático. Nas regiões tropicais, a cobertura tem um impacto significativo no conforto térmico de edifícios de um único pavimento, devido à sua exposição direta à radiação solar (VIEIRA; SANTOS, 2014).

As telhas cerâmicas oferecem uma melhora na sensação térmica devido às propriedades do barro, que atua como isolante térmico e pode absorver água, liberando-a por evaporação durante o dia para retardar a absorção de radiação solar, ideal para climas quentes. Para garantir resultados satisfatórios, é essencial observar a inclinação adequada e garantir uma instalação e vedação perfeitas. Optar por telhas com revestimento sintético de fábrica proporciona maior proteção e durabilidade. Além disso, é recomendável adicionar materiais isolantes entre a telha e o forro, como demonstrado na Figura 11, para reduzir a transferência de calor por radiação e minimizar os ganhos térmicos nos períodos mais quentes (MICHELS, 2007).

Figura 11 - Propriedades termo físicas da cobertura cerâmica e recomendações construtivas

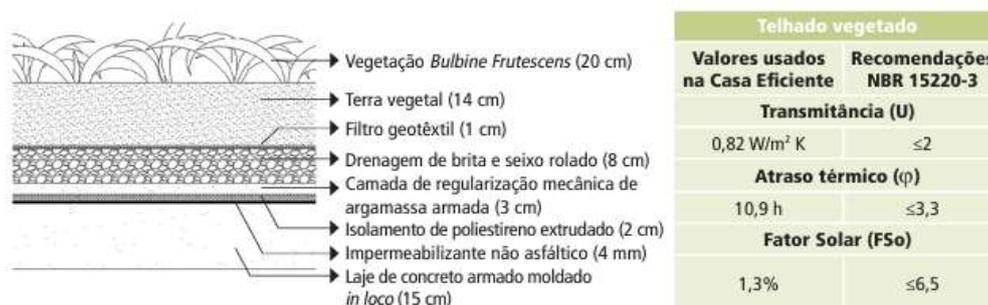


Fonte: LAMBERTS *et al.*, 2010

Outro tipo de telha com excelentes resultados para o clima em questão é a telha metálica do tipo sanduíche, composta por uma lâmina metálica (atuando como barreira radiante), isolante termoacústico (como lã mineral, poliuretano ou EPS) e outra lâmina metálica. Essa composição confere à telha uma baixa condutividade térmica, resultando em uma menor transferência de calor entre os ambientes interno e externo. Isso reduz os ganhos térmicos no verão e as perdas de calor no inverno. Além disso, essas telhas permitem o uso em vãos maiores, exigem estrutura e inclinação menores para instalação em comparação com telhas cerâmicas, tornando-as uma ótima opção para edifícios ou residências com platibanda (MICHELS, 2007).

O telhado verde, ilustrado na Figura 12, também conhecido como cobertura verde, envolve a criação de uma camada vegetal sobre a cobertura da edificação, visando proporcionar conforto ambiental interno e promover práticas sustentáveis nas cidades, reduzindo as chamadas ilhas de calor urbanas. Essa técnica, amplamente estudada e aplicada nas últimas décadas, visa aumentar a eficiência energética das edificações, especialmente na redução do consumo de energia para refrigeração durante os meses mais quentes. Essa tendência incentiva ainda mais a adoção dessa estratégia em climas com verões quentes, típicos de regiões subtropicais (LAMBERTS *et al.*, 2010).

Figura 12 - Propriedades termo-físicas do telhado vegetado e recomendações construtivas (NBR 15220-3)



Fonte: LAMBERTS *et al.*, 2010

Existem dois tipos principais de telhados verdes: o extensivo, caracterizado por sua leveza e camada fina de substrato, geralmente com vegetação rasteira; e o intensivo, que suporta uma variedade maior de vegetação, inclusive árvores, porém requer manutenção mais intensa devido à sua maior espessura de substrato. Ambos podem ser aplicados em lajes planas ou inclinadas, exigindo cálculos estruturais adequados para suportar sua carga e camadas vegetais e de impermeabilização (LAMBERTS *et al.*, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo analisar os estudos já existentes relacionados ao contexto climático e energético da Região Sul do Brasil. Considerando a diversidade climática que caracteriza a região, é fundamental que as estratégias de condicionamento térmico passivo sejam adequadas às especificidades locais, de modo a otimizar o desempenho térmico das edificações e aumentar a eficiência energética. A seguir, serão apresentadas análises detalhadas sobre as estratégias de condicionamento passivo aplicadas nas cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, com ênfase em suas particularidades climáticas e padrões de consumo de energia.

3.1 ANÁLISE DOS DADOS CLIMÁTICOS DA REGIÃO SUL E AS ESTRATÉGIAS DE CONDICIONAMENTO PASSIVO EM CADA CAPITAL

A região Sul do Brasil apresenta um clima que inclui subtropical úmido e temperado, com invernos rigorosos e verões quentes. As capitais Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba têm características climáticas distintas que influenciam diretamente as estratégias de construção. A análise dos dados climáticos, como temperaturas médias, umidade relativa, direção dos ventos e níveis de insolação, permite o desenvolvimento de estratégias de eficiência energética e condicionamento passivo com a adaptação das edificações às condições locais, otimizando o uso de recursos naturais e diminuindo o consumo de eletricidade.

Dado o impacto das condições climáticas nas estratégias de construção, é fundamental considerar o marco regulatório que orienta a eficiência energética no Brasil. Nesse contexto, destaca-se um conjunto de medidas e projetos desenvolvidos no país visando à conservação e uso racional de energia, especialmente após a crise energética de 2001. A legislação brasileira estabelece, através da Lei N°. 10.295 e do Decreto N°. 4.059, diretrizes para a eficiência energética. Essa normativa define os níveis máximos de consumo energético e eficiência mínima para edificações, utilizando indicadores técnicos como o desempenho térmico, que avalia o conforto térmico e o consumo energético das edificações (ELI et al, 2021), sob a regulamentação específica do Ministério de Minas e Energia (LAMBERTS et al, 2005).

Para maximizar a eficiência das estratégias de construção e garantir o conforto dos ocupantes, é essencial compreender os modelos de conforto térmico que avaliam como as condições ambientais influenciam a sensação térmica. Pinto (2023) explica que os modelos de conforto térmico foram desenvolvidos ao longo de cinco décadas para entender a interação das

peças com o ambiente térmico. Inicialmente, esses modelos se baseavam em abordagens fisiológicas e termorreguladoras, usando métodos matemáticos para prever as respostas do corpo às condições térmicas. Com o tempo, os modelos passaram a considerar tanto o conforto térmico geral quanto a sensação em diferentes partes do corpo. Além das respostas fisiológicas, também passaram a incluir a aceitabilidade térmica dos ambientes internos, com base em dados empíricos. Os modelos principais atualmente incluem mais variáveis para análise, do que os modelos clássicos como PMV-PPD (*Predicted Mean Vote - Predicted Percentage of Dissatisfied*), que avalia a sensação térmica e o grau de desconforto dos ocupantes em ambientes com sistemas de condicionamento mecânico, e o modelo adaptativo, para ambientes naturalmente ventilados.

Pinto (2023) também destaca que a localização dos ocupantes e a variação da temperatura radiante média (MRT) influenciam o conforto térmico, especialmente em ambientes com grandes superfícies de vidro, onde a proximidade das janelas pode gerar desconforto. O autor critica métodos tradicionais de avaliação de conforto térmico que ignoram essas variações, tratando a temperatura de forma homogênea. Além disso, a escolha de materiais de construção, como vidros insulados ou não, impacta tanto o conforto térmico quanto o consumo de energia. Em climas tropicais, vidros insulados têm desempenho semelhante, mas em climas temperados podem aumentar o consumo energético.

Os modelos de conforto térmico são essenciais para analisar as condições ambientais e a sensação térmica, detalhando as trocas de calor no corpo humano. Zhovkva (2020) destaca que o aumento global no número de edifícios intensifica a demanda por energia, que deve crescer em um terço até 2040. Segundo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11 ("Cidades e Comunidades Sustentáveis") e o ODS 7 ("Energia Acessível e Limpa"), é crucial aumentar a eficiência energética nos edifícios para reduzir o impacto ambiental até 2030. Para isso, é necessário dobrar os índices globais de eficiência energética, utilizando fontes renováveis e abordando aspectos técnicos, financeiros e sociais relacionados à energia (JUNIOR; DIEHL; SECOMANDI, 2019).

No escopo dessas inovações, tem-se o LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina que oferece arquivos climáticos para simulação do desempenho energético de edificações, com dados de 2016 disponíveis online (UFSC, 2024). O laboratório está envolvido no Projeto "Transformação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil", uma iniciativa do Ministério do Meio Ambiente em cooperação com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), financiado por organizações como Fundo Global para o Meio Ambiente e Banco Interamericano de Desenvolvimento. Este projeto visa impulsionar o

mercado de eficiência energética em edifícios comerciais e públicos, fornecendo dados e recursos que apoiam esse desenvolvimento.

Nesse passo, o trabalho do PROCEL/Eletrobrás e da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é fundamental para a disseminação de práticas de eficiência energética. A plataforma online, acessada por cerca de 20 mil usuários mensais, é uma ferramenta pública que integra elementos bioclimáticos nos projetos, promovendo conforto térmico e redução do consumo de energia (Brasil, 2024).

O PROJETEEE disponibiliza dados climáticos do INMET 2016, de mais de 400 cidades brasileiras, sugerindo estratégias como aquecimento solar passivo, inércia térmica e ventilação natural. A plataforma inclui o programa Sol-Ar, que permite a manipulação de cartas solares e rosas dos ventos. Além disso, a plataforma oferece informações sobre propriedades térmicas de componentes construtivos e calcula a transmitância térmica, educando profissionais sobre a importância da envoltória dos edifícios, e aborda temas como ar condicionado, iluminação e geração distribuída.

A busca por um equilíbrio entre crescimento econômico e redução das emissões de carbono reflete a importância de otimizar tanto o conforto térmico quanto a eficiência energética. No Brasil, onde o uso predominante de fontes renováveis na matriz energética é uma realidade, a região Sul se destaca pela expansão na capacidade e demanda de eletricidade. O aumento recente no consumo, impulsionado por fatores climáticos e pela crescente adoção de dispositivos elétricos, ressalta a necessidade de soluções eficazes para atender às necessidades energéticas residenciais. Nesse cenário, iniciativas voltadas para a eficiência energética e a regulamentação dos equipamentos são fundamentais para otimizar o uso da eletricidade e garantir um futuro sustentável. Assim, a integração de modelos detalhados de conforto térmico com estratégias de eficiência energética torna-se essencial para enfrentar os desafios do setor energético e promover um desenvolvimento mais verde e equilibrado.

3.1.1 Consumo de eletricidade na região sul

A transição energética global emerge como um desafio central, visando impulsionar o desenvolvimento econômico e social com redução substancial das emissões de carbono e maior ênfase em fontes de energia limpas e renováveis. No Brasil, cerca de 84,25% da matriz elétrica é proveniente de fontes renováveis, enquanto os 15,75% restantes derivam de fontes não renováveis. As principais fontes renováveis na matriz elétrica brasileira são a hidrelétrica, eólica e de biomassa, enquanto as fontes não renováveis incluem gás natural, petróleo e carvão mineral (EPE, 2023).

O Sul do Brasil possui uma capacidade instalada de 39.821 MW, representando 17,6% da capacidade total do país em 2023, segundo o Balanço Energético Nacional 2024 (BRASIL, 2024). Como detalhado na Tabela 2, o estado do Paraná lidera a região com uma capacidade instalada de geração de energia de 21.014 MW, contribuindo com 9,6% do total nacional. Santa Catarina e Rio Grande do Sul seguem com capacidades de 7.491 MW (3,9%) e 11.317 MW (5,0%), respectivamente.

Tabela 2 - Capacidade instalada da Região Sul

| Capacidade instalada região Sul em 2023 (MW) | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Ano | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Δ% 23/22 |
| Brasil | 133.913 | 140.874 | 150.410 | 157.358 | 163.510 | 172.280 | 179.505 | 190.574 | 206.451 | 225.952 | 9,400 |
| Sul | 29.895 | 31.101 | 31.705 | 31.914 | 31.709 | 32.969 | 33.584 | 34.643 | 37.584 | 39.821 | 6,000 |
| PR | 17.219 | 17.254 | 17.764 | 17.690 | 17.795 | 18.399 | 18.470 | 18.667 | 20.217 | 21.014 | 3,900 |
| SC | 5.421 | 5.456 | 5.481 | 5.584 | 5.674 | 5.790 | 5.959 | 6.305 | 6.806 | 7.491 | 10,100 |
| RS | 7.255 | 8.391 | 8.459 | 8.639 | 8.240 | 8.780 | 9.156 | 9.671 | 10.562 | 11.317 | 7,100 |

Fonte: elaboração do autor a partir de BRASIL, 2024

A Tabela 3 mostra que entre 2014 e 2023, o consumo de eletricidade no Brasil apresentou aumento, atingindo 531.872 GWh em 2023. Este crescimento também foi impulsionado pela Região Sul, que registrou uma elevação de 3,3% no período de 2022 a 2023, totalizando 97.843 GWh. Dentro da Região Sul, o Paraná apresentou crescimento notável de 3,4% no consumo total, com destaque para o setor residencial, que cresceu 8,2%. Santa Catarina também apresentou aumento de 3,7% no consumo total, com um incremento de 6,8% no setor residencial. Por outro lado, o Rio Grande do Sul teve crescimento total modesto de 2,9%, mas o setor residencial experimentou um aumento considerável de 8,3%. Esses dados refletem um aumento consistente na demanda por eletricidade nas áreas residenciais das três unidades federativas da Região Sul, indicando um crescimento contínuo no consumo energético habitacional (BRASIL, 2024).

Tabela 3 - Consumo de eletricidade - Região Sul

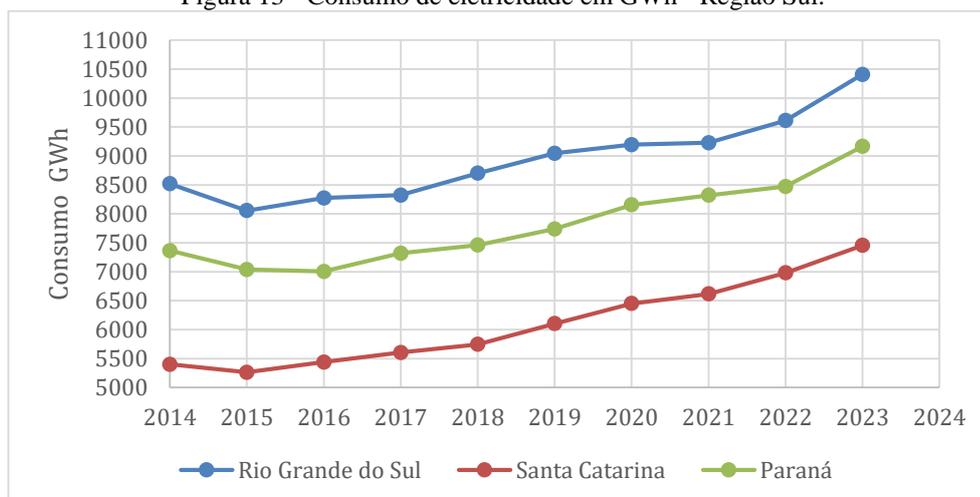
| Consumo (GWh) | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------|
| 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Δ% (23/22) |
| Brasil | | | | | | | | | | |
| 474.828 | 466.041 | 462.138 | 467.534 | 475.987 | 482.586 | 476.637 | 502.644 | 509.441 | 531.872 | 4,400 |
| Região Sul | | | | | | | | | | |
| 84.819 | 82.154 | 82.426 | 84.997 | 87.174 | 89.421 | 88.703 | 92.761 | 94.683 | 97.843 | 3,300 |
| Paraná | | | | | | | | | | |
| Consumo Total | | | | | | | | | | |
| 30.387 | 29.861 | 29.598 | 30.726 | 31.820 | 32.925 | 32.867 | 34.519 | 35.468 | 36.684 | 3,400 |
| Residencial | | | | | | | | | | |

| Consumo (GWh) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | $\Delta\%$ (23/22) |
| 7.363 | 7.037 | 7.003 | 7.319 | 7.460 | 7.737 | 8.155 | 8.320 | 8.470 | 9.164 | 8,200 |
| Santa Catarina | | | | | | | | | | |
| Consumo Total | | | | | | | | | | |
| 23.794 | 23.049 | 23.307 | 24.344 | 24.935 | 26.071 | 26.215 | 27.885 | 28.635 | 29.682 | 3,700 |
| Residencial | | | | | | | | | | |
| 5.398 | 5.262 | 5.438 | 5.605 | 5.744 | 6.102 | 6.449 | 6.617 | 6.980 | 7.455 | 6,800 |
| Rio Grande do Sul | | | | | | | | | | |
| Consumo Total | | | | | | | | | | |
| 30.638 | 29.245 | 29.521 | 29.927 | 30.419 | 30.426 | 29.621 | 30.357 | 30.581 | 31.477 | 2,900 |
| Residencial | | | | | | | | | | |
| 8.517 | 8.054 | 8.273 | 8.323 | 8.699 | 9.045 | 9.195 | 9.227 | 9.610 | 10.408 | 8,300 |

Fonte: elaboração do autor a partir de BRASIL, 2024

A análise dos gráficos do Painel de Monitoramento do Consumo de Energia Elétrica, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (2024), utiliza dados da série histórica de 2004 em diante. Esses dados abrangem o consumo mensal e anual de energia elétrica em níveis nacional, regional e por subsistemas, segmentados pelas classes residencial, industrial, comercial e outras. A Figura 13 apresenta os dados de consumo de eletricidade entre os anos de 2014 e 2024, e revela que o consumo de eletricidade nas residências da região sul segue uma trajetória de crescimento congruente com a média nacional. Destaca-se que os períodos de pico de consumo coincidem com os meses de dezembro e janeiro, caracterizados pelo aumento significativo na utilização de equipamentos de refrigeração, enquanto os períodos de menor consumo se concentram nos meses de inverno, notadamente julho e agosto. Além disso, é perceptível que o estado do Rio Grande do Sul desponta como o maior consumidor de eletricidade na região sul, seguido pelo Paraná e Santa Catarina, podendo ser relacionado com a quantidade de população desses estados.

Figura 13 - Consumo de eletricidade em GWh - Região Sul.



Fonte: elaboração do autor a partir de BRASIL, 2024

Ao analisarmos o consumo médio por consumidor, detalhado na Tabela 4, definido como a média mensal dos últimos 12 meses de consumo da classe residencial dividida pela média mensal dos últimos 12 meses do número de consumidores dessa classe, no mesmo período de 2014 a 2023, observa-se que a média de consumo por consumidor na região sul segue a tendência de crescimento da média nacional. Entretanto, constata-se que tal média na região sul supera o valor consumido no restante do país. No contexto nacional, o consumo médio por consumidor é de 170,43 kWh/mês, enquanto na região sul é de 198,87 kWh/mês.

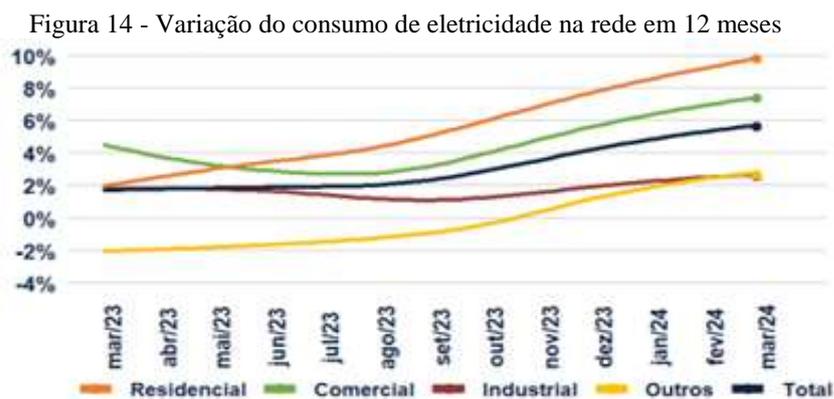
Tabela 4 - Consumo médio residencial por consumidor (kWh/mês)

| Consumo médio residencial por consumidor (kWh/mês) | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | Δ% (23/22) |
| Brasil | | | | | | | | | | |
| 169,53 | 169,42 | 161,43 | 159,80 | 160,43 | 162,96 | 167,18 | 166,81 | 163,29 | 170,43 | 4,40 |
| Região Sul | | | | | | | | | | |
| 192,94 | 179,57 | 178,64 | 179,48 | 180,11 | 183,50 | 188,76 | 186,76 | 189,19 | 198,87 | 3,30 |
| Paraná | | | | | | | | | | |
| 175,37 | 162,84 | 158,35 | 162,12 | 161,75 | 164,48 | 169,40 | 167,93 | 167,18 | 177,21 | 6,00 |
| Santa Catarina | | | | | | | | | | |
| 216,43 | 203,34 | 203,87 | 204,80 | 204,35 | 211,33 | 217,50 | 216,53 | 221,81 | 230,61 | 4,00 |
| Rio Grande do Sul | | | | | | | | | | |
| 196,45 | 182,00 | 183,92 | 181,45 | 183,61 | 185,37 | 190,41 | 187,47 | 190,95 | 200,67 | 5,10 |

Fonte: elaboração do autor a partir de BRASIL, 2024

O fenômeno climático El Niño, que trouxe temperaturas acima da média e um clima mais seco em todo o Brasil, combinado com o aumento no número de consumidores e melhorias

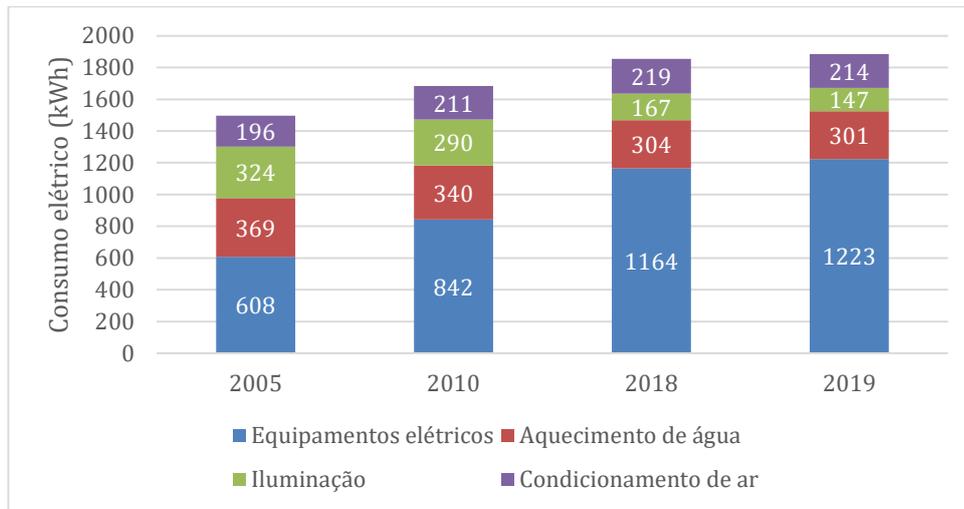
nos indicadores de renda e emprego, resultou em um novo recorde de consumo mensal de energia elétrica em residências durante março de 2024. Conforme a Figura 14, o consumo de eletricidade nas residências registrou um aumento significativo, de 9,1%, em comparação com o mesmo período de 2023, alcançando 15.615 GWh, o maior valor desde 2004. Esse dado destaca como as condições climáticas e sociais desempenham um papel crucial no consumo de energia elétrica, particularmente no setor residencial (EPE, 2024).



Fonte: Adaptada de Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica: base março de 2024, EPE, 2024

O incremento na presença de dispositivos elétricos e eletrônicos ao longo do tempo é consequência do aumento da posse desses equipamentos nos lares, impulsionado pelo crescimento da renda, pela facilitação do acesso ao crédito e pela redução dos preços. A Figura 15 destaca que o uso de dispositivos para controle térmico ambiental, como sistemas de ar-condicionado e ventiladores tem crescido, enquanto a utilização de iluminação convencional tem sido gradualmente substituída por fontes mais eficientes, como lâmpadas fluorescentes compactas e de LED. A diminuição no consumo de energia destinado ao aquecimento de água resulta da crescente adoção de sistemas de aquecimento solar e da expansão da infraestrutura de distribuição de gás natural (BRASIL, 2021).

Figura 15 - Consumo elétrico residencial por uso final em kWh por domicílio



Fonte: elaboração do autor, adaptado de BRASIL, 2021

As políticas de etiquetagem e padronização em equipamentos eletrodomésticos representam os principais mecanismos adotados para promover a eficiência energética nos lares. O Plano Brasileiro de Etiquetagem (PBE), originado na década de 1980, teve seu início marcado pela participação voluntária dos fornecedores de equipamentos, especialmente os voltados para uso doméstico. Com o tempo, essa adesão progressivamente se tornou compulsória para certos tipos de produtos. A promulgação da Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001) no início dos anos 2000 ampliou ainda mais o escopo do PBE, exigindo critérios de desempenho obrigatórios baseados em índices mínimos de eficiência energética (BRASIL, 2021).

Adicionalmente, além das políticas de padronização e etiquetagem, o Brasil também implementa iniciativas complementares com o propósito de promover a eficiência energética. Estas iniciativas abrangem a estipulação de normas, a concessão de certificações e a implementação de programas que visam não somente os dispositivos consumidores de energia elétrica, mas também o desempenho térmico das edificações e suas interações com os moradores (BRASIL, 2021).

Conforme Altoé (2017) explica, a formulação de legislações no Brasil para promover a eficiência energética teve início na década de 1980 com políticas públicas. O Quadro 1 apresenta a cronologia das iniciativas governamentais brasileiras voltadas para a eficiência energética:

Quadro 1 - Histórico de iniciativas governamentais

| Ano | Programa/Lei | Descrição |
|------------|---|---|
| 1981 | Programa Conserve | Incentivo para promover a eficiência energética na indústria, visando a conservação de energia e a substituição de insumos importados por alternativas nacionais. |
| 1982 | Programa de Mobilização Energética (PME) | Conjunto de procedimentos para racionalizar o consumo de eletricidade e substituir progressivamente fontes de energia derivadas do petróleo. |
| 1985 | Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) | Criado para integrar medidas de conservação de eletricidade, incluindo a fundação do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). |
| 1991 | Programa Nacional da Racionalização do Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) | Promover a racionalização do consumo de fontes não renováveis. |
| 1997 | Lei nº 9.478 - Política Energética Nacional (PEN) | Institui a Política Energética Nacional, cria o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional de Petróleo, com foco na proteção ambiental e conservação de energia. |
| 2000 | Lei nº 9.991 | Obriga empresas de eletricidade a investir em pesquisa, desenvolvimento e eficiência energética. |
| 2001 | Lei nº 10.295 - Lei da Eficiência Energética | Cria a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estabelecendo padrões de eficiência energética para equipamentos e edificações. |
| 2001 | Decreto nº 4.059/2001 | Define os indicadores de eficiência energética para equipamentos e edificações; revogado pelo Decreto nº 9.864/2019. |
| 2007 | Plano Nacional de Energia (PNE) 2030 | Primeiro estudo de planejamento energético a longo prazo, destacando potencial para eficiência energética e expansão sustentável da oferta de energia. |
| 2009 | Alterações no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) | Introdução de etiquetagem para edificações comerciais, públicas e de serviços. Em 2010, edifícios residenciais foram incluídos. |
| 2011 | Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) | Apresenta medidas para promover a eficiência energética nos diversos setores da economia, busca aprimorar o marco legal e conscientizar sobre consumo consciente. |

Fonte: elaboração do autor a partir de COSTA e JUNIOR, 2021

Nesse sentido, pontua-se o disposto por Gomes (2022) acerca do consumo de energia e as estratégias de gestão energética diante das transformações no setor energético global e nacional. Destaca-se o aumento contínuo do consumo de energia mundial, impulsionado por revoluções tecnológicas, pelo uso intensivo de transportes a combustão e pelo crescimento

industrial. Esse cenário tem levado as nações a discutirem e implementarem medidas para mitigar o aquecimento global e incentivar o uso de energias renováveis e o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis.

3.1.2 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Curitiba, PR

Kruger e Rossi (2015) explicam que no Brasil, a maioria das cidades se desenvolveu de maneira desordenada, o que contribuiu para a degradação ambiental. A intensidade do fenômeno da ilha de calor, como observado em São Paulo, evidencia diferenças de temperatura de até 10°C entre áreas urbanas e rurais, especialmente nas regiões mais densas e poluídas. Curitiba, por outro lado, é uma das poucas exceções, tendo implementado um processo contínuo e institucionalizado de planejamento urbano desde 1943, com o "Plano Agache". No entanto, a mecanização agrícola na década de 1970, juntamente com a criação da Cidade Industrial de Curitiba (CIC), atraiu um grande fluxo de migrantes em busca de trabalho.

Embora Curitiba tenha seguido um modelo de planejamento urbano mais estruturado, os desafios climáticos persistem devido ao crescimento acelerado e à urbanização extensiva. Análises termográficas de superfície demonstraram que existe uma relação direta entre o grau de urbanização e o aumento das temperaturas locais, especialmente durante o dia, em períodos de inverno. O desenvolvimento urbano de Curitiba resultou em uma cidade marcada não apenas por áreas verdes, redes viárias e pela evolução das zonas industriais, mas também pela diversidade socioespacial das habitações e outros desafios socioambientais. Atualmente, sua configuração é caracterizada pela intensa verticalização ao longo das Vias Estruturais, o que transformou o sistema urbano polinucleado anterior e gerou impactos significativos na paisagem urbana e no conforto ambiental. Ao longo desses eixos, criados para direcionar o crescimento da cidade e o fluxo de tráfego, o zoneamento permitiu a construção de edifícios altos que formam "cânions urbanos", modificando os campos térmicos e a distribuição de iluminação natural (KRUGER; ROSSI, 2015).

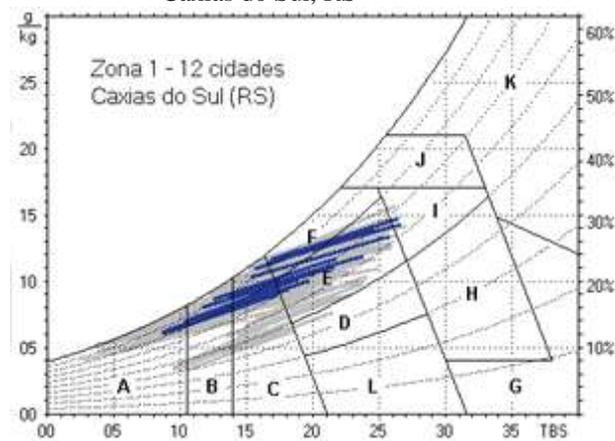
Para a Zona Bioclimática 1 (Figura 16), a carta bioclimática para esta região mostrada na Figura 17, recomend-se o uso de aberturas de tamanho médio e permitir a entrada de sol durante os meses mais frios. Quanto às vedações externas, devem ser utilizadas paredes leves e coberturas leve isoladas. Estratégias de condicionamento passivo para o inverno são fundamentais, como o aquecimento solar na edificação e vedações internas pesadas. No entanto, mesmo com essas estratégias, pode haver insuficiência durante os períodos mais frios. Para o verão, a estratégia principal é a ventilação cruzada. (ABNT, 2005b).

Figura 16 - Zona Bioclimática 1



Fonte: ABNT, 2005b

Figura 17 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Caxias do Sul, RS



Fonte: ABNT, 2005b

Os dados da plataforma PROJETEEE para Curitiba, compilados na Tabela 6, mostram que 77% do ano é marcado por desconforto térmico devido ao frio, com uma intensificação desse desconforto durante o inverno. As estratégias bioclimáticas sugeridas pela plataforma, como inércia térmica e aquecimento solar passivo, demonstram ser insuficientes quando aplicadas isoladamente para garantir conforto térmico. Isso indica que, especialmente no inverno, é necessário complementar essas estratégias com fontes externas de aquecimento para atingir um nível adequado de conforto térmico. A eficácia dessas abordagens bioclimáticas pode ser aprimorada por meio da integração de soluções adicionais de aquecimento, ajustando-as às condições específicas de Curitiba para melhorar o conforto durante todo o ano.

Na plataforma PROJETEEE, foram configuradas análises considerando todas as estações e horários do dia. Em seguida, foram realizadas análises específicas para as estações de verão e inverno, também abrangendo todas as horas do dia. Essa abordagem tem como

objetivo avaliar o comportamento da sensação de conforto térmico ao longo do dia, particularmente nas estações mais extremas do ano. A mesma configuração foi aplicada às cidades de Florianópolis e Porto Alegre, conforme as subseções 3.1.3 e 3.1.4, respectivamente.

Tabela 5 - Simulação de estratégias Bioclimáticas para a cidade de Curitiba, PR

| Estação do ano | Condições de conforto | | | Estratégias bioclimáticas |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| | % da estação em desconforto por frio | % da estação em conforto térmico | % da estação em desconforto por calor | |
| Todas | 77% | 15% | 8% | Inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e ventilação natural |
| Verão | 56% | 24% | 20% | Inércia térmica para aquecimento, ventilação natural e sombreamento |
| Inverno | 88% | 8% | 4% | Inércia térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo |

Fonte: elaboração do autor a partir de PROJETEEEE, 2024

Segundo o estudo de Pires (2013), para Bento Gonçalves, na mesma zona bioclimática de Curitiba (ZB1), o uso de materiais com altas absorvâncias em paredes e coberturas melhorou significativamente o desempenho térmico das edificações. Assim como em Porto Alegre, os vidros duplos com câmaras de ar foram as esquadrias mais adequadas devido à menor transmitância térmica. No entanto, grandes áreas envidraçadas requerem atenção, pois podem resultar em maiores perdas de calor no inverno, sendo que a área máxima das aberturas para essa zona bioclimática não deveria exceder 20% da área do piso. Apesar do aumento do desempenho térmico, as temperaturas internas ainda ficaram abaixo da faixa de conforto nos períodos frios neste estudo, indicando a necessidade de fontes internas de calor

Para enfrentar esses desafios climáticos, a carta bioclimática desenvolvida por Suzuki (2012) utilizando o software Analysis BIO (2010) sugere várias estratégias adaptadas às condições específicas de Curitiba. No verão, a principal estratégia bioclimática recomendada é a ventilação (19,9% do ano), com a instalação de aberturas que permitam ventilação cruzada. Outras estratégias incluem o uso de massa térmica para resfriamento e resfriamento evaporativo. No inverno, a carta sugere o uso de vedações com alta inércia térmica, que devem ser aquecidas pelo Sol para armazenar e liberar calor posteriormente. O aquecimento solar

passivo é recomendado, com a utilização de grandes janelas na face norte da edificação, e o uso de aquecimento artificial pode ser necessário.

Além disso, Suzuki (2012) comparou um protótipo de edificação com e sem Parede Trombe em Curitiba, demonstrando que a Parede Trombe é uma alternativa eficaz para melhorar o desempenho térmico. Durante o inverno, a temperatura interna mínima ficou 4,4°C acima da temperatura externa, com a Parede Trombe mostrando um desempenho notável ao acumular calor durante o dia e liberá-lo à noite. No verão, apesar de ser mais indicada para climas frios, a Parede Trombe também apresentou bons resultados, superando o desempenho do protótipo padrão de concreto quando operada corretamente.

No estudo de Linczuk (2020), no Grupo 2, referente à cidade de Curitiba, destacam-se as soluções CTB1, CTB3 e CTB5, que são analisadas no estudo. Observou-se que a escolha de uma parede com alta transmitância térmica requer, para a minimização dos ganhos de calor interno (GHa) e dos ganhos de calor radiante (GHr), uma cobertura com alta transmitância térmica. Em contraste, quando se opta por uma parede com baixa transmitância térmica, a combinação mais eficiente é com uma cobertura de baixa transmitância térmica. Em relação à absorvância solar, tanto para paredes quanto para coberturas, cores mais escuras, que correspondem a uma alta porcentagem de absorção, apresentaram melhores resultados. Além disso, a configuração ideal foi obtida com uma área de janela equivalente a 15% da área da parede. No que diz respeito aos brises, os valores mostraram uma variação significativa, sendo que a proteção solar horizontal mais eficaz foi geralmente inferior a 40% da largura da janela.

- **CTB1:** se destaca por sua baixa transmitância térmica, oferecendo um controle eficaz da troca de calor. Utiliza paredes com tijolos de 14 cm de espessura e isolamento de lã de rocha, além de uma cobertura com telha metálica e poliuretano sobre uma laje de concreto. A janela ocupa 15% da área da parede e é equipada com *brises* horizontais e verticais, proporcionando uma solução eficiente em termos de conforto térmico.

- **CTB3:** apresenta uma transmitância térmica maior tanto nas paredes quanto na cobertura em comparação ao CTB1. O sistema de sombreamento é menos eficiente, refletindo um desempenho térmico reduzido.

- **CTB5:** com paredes e cobertura de maior transmitância térmica e um sistema de sombreamento menos robusto. Embora seja mais acessível, compromete um pouco a eficiência térmica em comparação com as outras opções.

A pesquisa de Pacheco (2014, *apud* LINCZUK, 2020) destaca aspectos relevantes sobre a eficiência energética de edificações de energia zero em Curitiba, especialmente ao comparar ventilação natural e climatização artificial. A pesquisa mostra que, para a ventilação

natural, a falta de sombreamento e a menor transmitância térmica das paredes reduzem a necessidade de aquecimento, mas podem aumentar a demanda por resfriamento. No caso da climatização artificial, o sombreamento e a menor transmitância térmica das paredes ajudam a reduzir o consumo energético, evidenciando sua importância em sistemas controlados artificialmente. No entanto, a pesquisa aponta que a recuperação de calor não demonstrou benefícios significativos para reduzir o consumo energético, sugerindo a necessidade de reavaliar sua eficácia em contextos específicos. Esses resultados ressaltam a importância de ajustar as estratégias energéticas às condições climáticas e sistemas específicos.

3.1.3 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Florianópolis, SC

Pereira e Junior (2022) explicam que em Florianópolis, as características climáticas são marcadas por seu contexto insular e transicional, influenciado pela subtropicalidade. O município apresenta uma alta frequência de eventos climáticos extremos. A localização geográfica da cidade na Ilha de Santa Catarina, com uma extensa zona costeira de 172 km, e sua condição de interface entre o oceano e o continente, influenciam diretamente sua dinâmica climática. A maritimidade exerce um papel significativo, mantendo a umidade relativa do ar entre 60% e 80% ao longo do ano, o que contribui para o controle da amplitude térmica.

O clima de Florianópolis é também fortemente impactado pela passagem de frentes polares, que causam mudanças abruptas nos tipos de tempo, podendo ocorrer em qualquer estação. Essas variações são resultado da interação de diferentes massas de ar, como a Massa Tropical Atlântica (mTa), associada a condições de tempo estáveis, e a Massa Polar Atlântica (mPa), que traz ventos do sul, redução de umidade e baixas temperaturas, especialmente durante o inverno. A dinâmica climática na cidade é influenciada pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela Frente Polar Atlântica (FPA), que moldam o comportamento atmosférico local, gerando uma alternância entre tipos de tempo estáveis e instáveis ao longo do ano.

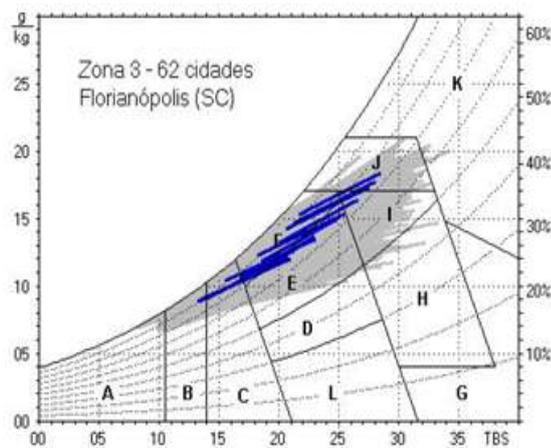
Em relação ao que é citado na NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), para a Zona Bioclimática 3 (Figura 18), a carta bioclimática para a região de Florianópolis, demonstrada na Figura 19, sugere o uso de aberturas de tamanho médio e permitir a entrada de sol durante os meses mais frios. Para as vedações externas, devem ser empregadas paredes leves refletoras e coberturas isoladas. Para o inverno, as estratégias de condicionamento passivo devem ser o aproveitamento solar na edificação e vedações internas pesadas. Para o verão, destaca-se a ventilação cruzada como principal estratégia (ABNT, 2005b).

Figura 18 - Zona Bioclimática 3



Fonte: ABNT, 2005b

Figura 19 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Florianópolis, SC



Fonte: ABNT, 2005b

Os dados da plataforma PROJETEER, apresentados na Tabela 6, para Florianópolis revelam que no verão, as estratégias de ventilação natural e sombreamento são especialmente importantes, já que 83% da estação apresenta desconforto por calor, e apenas 4% está marcado por desconforto por frio. Isso destaca a necessidade de soluções eficazes para resfriamento e controle da temperatura interna durante os meses quentes. Em contraste, no inverno, 76% da estação está associado a desconforto por frio, com 16% do tempo em conforto térmico. A combinação de inércia térmica, aquecimento solar passivo e ventilação natural é recomendada, mas ainda é evidente que, durante o inverno, as estratégias bioclimáticas existentes podem não ser suficientes sozinhas, exigindo fontes adicionais de aquecimento para garantir um conforto adequado.

Tabela 6 - Simulação de estratégias bioclimáticas para a cidade de Florianópolis

| Estação do ano | Condições de conforto | | | Estratégias bioclimáticas |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| | % da estação em desconforto por frio | % da estação em conforto térmico | % da estação em desconforto por calor | |
| Todas | 43% | 17% | 40% | Inércia térmica para aquecimento, ventilação natural e sombreamento |
| Verão | 4% | 13% | 83% | Ventilação natural, sombreamento e inércia térmica para aquecimento |
| Inverno | 76% | 16% | 8% | Inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo e ventilação natural |

Fonte: elaboração do autor a partir de PROJETEEE, 2024

Como evidenciado por Pereira e Junior (2022), as variações sazonais destacam a importância de ajustar as estratégias de conforto térmico de acordo com as condições climáticas específicas. Em Florianópolis, embora as soluções bioclimáticas, como ventilação natural e sombreamento, sejam eficazes para enfrentar o calor do verão, elas não são suficientes para garantir conforto térmico durante o inverno. A combinação de inércia térmica, aquecimento solar passivo e ventilação natural pode não atender completamente às necessidades térmicas na estação fria, indicando a necessidade de integrar estratégias adicionais de aquecimento para assegurar um nível constante de conforto ao longo do ano.

De acordo com Rupp e Ghisi (2013), o consumo de energia elétrica em edifícios de Florianópolis demonstra o potencial de economia através do uso de iluminação natural e ventilação híbrida. A pesquisa aponta que, em comparação com edifícios que utilizam apenas iluminação artificial e sistemas de condicionamento de ar, a combinação de iluminação natural com sistemas artificiais pode gerar uma redução de até 50,5% no consumo de energia elétrica. Para ambientes que utilizam ventilação híbrida e iluminação artificial, a economia pode alcançar 31,9%. Esse potencial aumenta ainda mais quando combinados com ventilação natural e iluminação natural, com uma redução máxima de até 64,9%. Esses resultados indicam a importância da integração de estratégias passivas e ativas para melhorar a eficiência energética em edificações.

O estudo destaca também que a proteção solar pode reduzir a luz natural, mas diminuir a carga térmica, impactando positivamente o consumo de ar-condicionado. A economia de

energia varia conforme as estratégias adotadas nos edifícios. A pesquisa também sugere que a ventilação cruzada oferece mais potencial de economia do que a ventilação unilateral, desde que o ruído urbano seja considerado. Utilizando o método de conforto térmico de Givoni, o estudo indica que a ventilação híbrida (natural e ar-condicionado) aumenta a variação das condições internas, mas garante muitas horas de conforto térmico. Isso reforça a importância de planejar considerando variáveis climáticas, arquitetônicas e de uso para maior eficiência energética.

A sustentabilidade na construção civil deve ser integrada em todas as etapas do ciclo de vida do edifício, desde a concepção até o final da vida útil. Sob essa perspectiva, o uso de estratégias de condicionamento passivo é altamente recomendado, utilizando elementos naturais como ventilação e iluminação para manter o conforto térmico sem depender de sistemas artificiais (MOTTA; AGUILAR, 2009). Essas abordagens visam reduzir a necessidade de energia elétrica e minimizar os impactos ambientais, alinhando-se aos princípios de eficiência energética e sustentabilidade.

Um exemplo prático dessa integração é o “Projeto Casa Eficiente” em Florianópolis, desenvolvido em parceria entre ELETROSUL/ELETRORBRAS/PROCEL e o LabEEE da UFSC. O projeto residencial incorpora estratégias de eficiência energética e sustentabilidade, servindo como vitrine de tecnologias e laboratório de pesquisa. O projeto arquitetônico inclui: orientação para aproveitamento solar e ventilação natural, ventilação cruzada, sombreamento adequado, materiais isolantes térmicos e acústicos, uso de teto-jardim, materiais renováveis, aproveitamento de água da chuva, tratamento de efluentes, uso de coletores solares, eletrodomésticos eficientes e geração de energia fotovoltaica. Além disso, a casa foi projetada para ser acessível a pessoas com necessidades especiais (LAMBERTS et al, 2005).

Para entender melhor a eficácia dessas abordagens, o estudo de Cruz et al (2014) realizado em Florianópolis analisou a eficácia de cinco sistemas passivos de resfriamento para reduzir a temperatura interna de edificações durante o verão. Esses sistemas utilizam estratégias como inércia térmica, resfriamento evaporativo indireto e resfriamento radiativo noturno, aplicados em uma configuração experimental de teto-reservatório.

Os resultados mostraram que os sistemas apresentaram um potencial médio de resfriamento entre 119 e 255W/m²-dia, com um máximo de 319W/m²-dia. Além disso, a temperatura interna máxima foi reduzida em até 10,4°C em comparação com a externa, com reduções médias variando entre 7,7°C e 10,4°C. A amplitude térmica interna também foi reduzida em relação à externa, com fatores decrementais variando de 0,34 a 0,70. Isso demonstra a eficiência dos sistemas em mitigar as variações térmicas externas. Os sistemas com

maior volume de água no reservatório apresentaram melhor desempenho, evidenciado pelos menores fatores decrementais, indicando uma maior eficiência na manutenção da temperatura interna (CRUZ et al, 2014).

Embora a pesquisa tenha mostrado a eficácia das técnicas de resfriamento passivo, é importante notar que os resultados foram obtidos em módulos de escala reduzida. Portanto, esses resultados podem não ser diretamente aplicáveis a edifícios de grande escala, devido a diferenças nas propriedades térmicas e ópticas. Ainda assim, os sistemas passivos de resfriamento representam uma alternativa viável ao ar condicionado, contribuindo para a redução do consumo de energia e das emissões de carbono associadas à climatização. Este estudo reforça a importância de adotar soluções sustentáveis para o controle térmico em edificações, especialmente em climas quentes e úmidos como o de Florianópolis (CRUZ *et al.*, 2014).

Nesse contexto, destaca-se o estudo realizado no contexto da Universidade Federal de Santa Catarina, onde se analisa a ventilação natural e o conforto térmico em edifícios residenciais no Brasil, considerando diferentes cenários de comportamento dos ocupantes em relação ao controle de ventilação. Os tipos mais comuns de janelas são as de correr simples, permitindo ventilação natural parcial (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016).

As normas de construção locais determinam a área mínima de janelas em relação à área do piso, variando conforme o uso do cômodo, considera-se aqui o conceito de normas técnicas e regulamentos que envolvem um conjunto de diretrizes e padrões estabelecidos por órgãos governamentais ou associações técnicas para assegurar a eficiência energética e o desempenho térmico das edificações (ELI et al, 2021). Tem-se, também, as normas no escopo jurídico como as atinentes ao IPTU verde que se trata de incentivo fiscal concedido a proprietários de imóveis que adotam medidas de eficiência energética e práticas sustentáveis, visando estimular melhorias no desempenho ambiental das edificações (SANTOS; HADDAD; BAJAY, 2021).

Assim, foram simuladas quatro combinações diferentes de componentes da envoltória do edifício, considerando variações na transmitância térmica e capacidade térmica das paredes e telhados, evidenciando que as características térmicas dos componentes influenciam o conforto térmico dos ambientes. O estudo considerou um padrão de ocupação típico de uma família brasileira, com uso limitado da iluminação artificial durante o dia, devido à preferência por luz natural. A densidade de potência para iluminação artificial foi considerada baixa, considerando o uso de lâmpadas fluorescentes. Os dados climáticos utilizados foram para

Florianópolis, classificando a cidade na zona bioclimática 3 do Brasil (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016). Três cenários de ventilação foram modelados:

- Ventilação de manhã à noite: Janelas abertas durante todo o dia, independentemente da temperatura interna.
- Controle automatizado de ventilação: Janelas abertas com base em critérios de temperatura interna e externa.
- Ventilação noturna: Janelas abertas apenas à noite, dependendo da temperatura externa. (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016).

Os resultados mostram que o cenário de controle automatizado com baixa transmitância térmica e capacidade térmica média apresentou o maior número de horas de conforto térmico, sendo o modelo de conforto térmico adaptativo a abordagem que considera a capacidade dos ocupantes de se adaptarem a variações térmicas, frequentemente aplicada em climas úmidos como o do Brasil (ELI et al, 2021). Em contraste, a alta transmitância térmica e baixa capacidade térmica resultaram no menor conforto. A variação no comportamento dos ocupantes teve um impacto significativo no conforto térmico, especialmente em edifícios com capacidade térmica média. O estudo destacou a importância de cenários de ventilação para maximizar o conforto térmico e minimizar o consumo de energia do sistema HVAC (SORGATO; MELO; LAMBERTS, 2016).

3.1.4 Análise das estratégias de condicionamento passivo para Porto Alegre, RS

Silva e Kinsel (2023) evidenciam que o clima de Porto Alegre pode ser compreendido dentro da classificação climática de Köppen, que considera fatores como vegetação, temperatura, precipitação, latitude, altitude e proximidade de corpos d'água. A cidade se encontra na zona de clima subtropical úmido, um dos climas de latitude média, caracterizado por verões quentes e invernos amenos a frios, com distribuição de chuvas ao longo de todo o ano. A interação de elementos como temperatura, umidade, radiação solar e ventos afeta diretamente o conforto térmico humano, e esses elementos variam em diferentes escalas climáticas — macro, meso e micro — que influenciam desde o aquecimento e resfriamento de grandes superfícies territoriais até o clima imediato ao redor das edificações.

Na escala macroclimática, a temperatura em Porto Alegre é influenciada pelos movimentos atmosféricos gerais e pela presença de massas de água, como rios e mares, que regulam a umidade. Em termos de mesoclima, a topografia da região e o tipo de vegetação desempenham um papel importante na modulação da temperatura e da umidade locais. No nível

microclimático, as edificações e seus arredores influenciam e são influenciadas pelo clima, criando condições específicas que devem ser consideradas no planejamento estrutural.

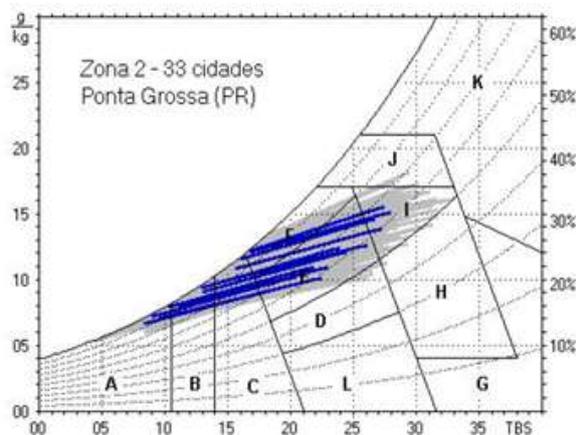
Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) para a Zona Bioclimática 2 (figura 20), as diretrizes para aberturas visam permitir uma ventilação adequada e o sombreamento das mesmas. Conforme mostrado na carta bioclimática para a cidade de Ponta Grossa (PR), na Figura 21, recomenda-se o uso de aberturas de tamanho médio e a entrada de luz solar durante os períodos de frio. Quanto às vedações externas, devem-se utilizar paredes leves e coberturas isoladas. As estratégias de condicionamento passivo para o inverno são essenciais nesta região, incluindo o uso de aquecimento solar na edificação e vedações internas pesadas. No entanto, mesmo com essas estratégias, pode ser insuficiente durante os períodos mais frios (ABNT, 2005b).

Figura 20 - Zona Bioclimática 2



Fonte: ABNT, 2005b

Figura 21 - Carta bioclimática com as normais climatológicas de cidades desta zona, destacando a cidade de Ponta Grossa, PR



Fonte: ABNT, 2005b

Os dados da plataforma PROJETEEE para Porto Alegre, apresentados na Tabela 7, corroboram essa complexidade climática, revelando que 55% do ano é marcado por desconforto térmico devido ao frio, 20% em conforto térmico e 25% em desconforto por calor. Durante o verão, 62% do tempo é marcado por desconforto por calor, enquanto apenas 13% é afetado por frio. Isso demonstra o potencial das estratégias de ventilação natural e sombreamento, que ajudam a reduzir o desconforto térmico associado ao calor, mas também revela a necessidade de melhorar o controle térmico para o calor intenso. Em contraste, no inverno, 84% do tempo é caracterizado por desconforto por frio, com apenas 12% em conforto térmico, indicando que as estratégias de inércia térmica e aquecimento solar passivo são insuficientes para enfrentar o frio rigoroso.

Tabela 7 - Simulação de estratégias bioclimáticas para a cidade de Porto Alegre.

| Estação do ano | Condições de conforto | | | Estratégias bioclimáticas |
|----------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--|
| | % da estação em desconforto por frio | % da estação em conforto térmico | % da estação em desconforto por calor | |
| Todas | 55% | 20% | 25% | Inércia térmica para aquecimento, ventilação natural e aquecimento solar passivo |
| Verão | 13% | 25% | 62% | Ventilação natural, sombreamento e inércia térmica para aquecimento |
| Inverno | 84% | 12% | 4% | Inércia térmica para aquecimento, aquecimento solar passivo |

Fonte: elaboração do autor a partir de PROJETEEE, 2024

Esses dados ressaltam a importância de adaptar as estratégias de conforto térmico às condições climáticas específicas de Porto Alegre. Enquanto as soluções bioclimáticas podem ser eficazes para mitigar o calor no verão, é necessário complementar essas estratégias com métodos adicionais de aquecimento no inverno para garantir um nível consistente de conforto térmico ao longo do ano.

O estudo de Pires (2013) corrobora que, em Porto Alegre, a ventilação e o sombreamento nas fachadas melhoram o desempenho térmico das edificações nos períodos quentes, enquanto o uso de massa térmica é eficaz nos períodos frios. Baixas transmitâncias térmicas nas paredes e coberturas ($\leq 2,0\text{W/m}^2\text{K}$) e um aumento do atraso térmico (≥ 4 horas) favoreceram o desempenho térmico. Em Porto Alegre, as baixas absorptâncias ($\leq 0,6$) foram

particularmente benéficas. No entanto, a baixa transmitância pode dificultar a dissipação do calor acumulado, sendo essencial utilizar ventilação cruzada, diurna e noturna, nos períodos quentes.

Os vidros duplos com câmaras de ar foram as melhores opções de esquadrias devido à sua menor transmitância térmica. Esquadrias que ocupam entre 20% e 30% da área do piso também contribuíram para um melhor desempenho térmico. Pires (2013) destaca a necessidade de desenvolver um sistema de sombreamento eficaz para os períodos quentes e um sistema de armazenamento de calor para os períodos frios.

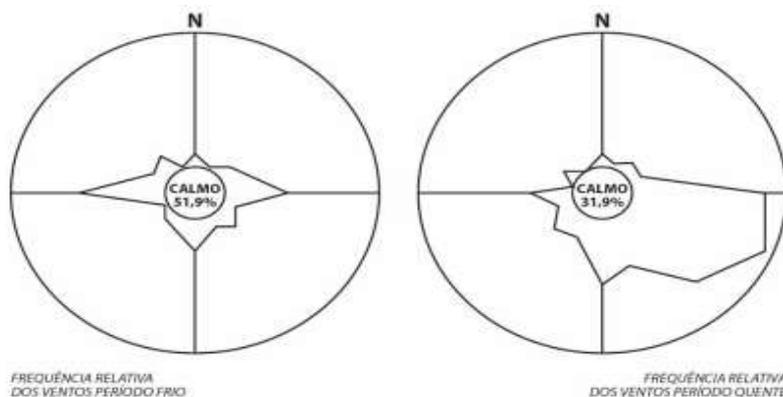
O estudo de Almeida e Picchi (2018) no contexto de Porto Alegre explora a integração dos conceitos de mentalidade enxuta - dirigida a minimizar desperdícios no processo produtivo - e sustentabilidade na construção civil -, marcada pela busca reduzir os impactos ambientais negativos associados ao setor. A aplicação de materiais isolantes nas paredes, coberturas e janelas mantém o conforto térmico, reduzindo as trocas de calor entre o interior e o exterior. Na região Sul, onde há variação de temperatura entre as estações, o isolamento contribui para economia de energia. A escolha de materiais com baixo impacto ambiental e que sejam adequados ao clima local (como madeira de reflorestamento e vidros duplos) também faz parte das estratégias de condicionamento passivo. Esses materiais ajudam a regular a temperatura interna e a reduzir o consumo de energia. Em regiões com alto índice pluviométrico, como a região Sul, o aproveitamento da água da chuva para usos não potáveis contribui para a sustentabilidade das edificações e alivia a demanda sobre os recursos hídricos locais.

No estudo de Linczuk (2020), para Porto Alegre, a carta bioclimática da cidade identifica as principais estratégias para assegurar conforto térmico: sombreamento (45,3% das horas), alta inércia térmica (33,8%), ventilação cruzada (23,33%), aquecimento solar passivo (11,8%) e aquecimento e resfriamento artificial (6,07% e 1,35% das horas, respectivamente). Durante o verão, as *brises* naturais e o sombreamento das fachadas melhoram significativamente o desempenho térmico das edificações. No inverno, o conforto térmico pode ser alcançado com ferramentas bioclimáticas e sistemas construtivos adequados. No entanto, em ambos os casos, é necessário o uso de recursos artificiais ou mecânicos para manter o conforto térmico.

Vieira (2014) ressalta que a orientação adequada deve considerar os ventos favoráveis para alcançar conforto térmico de forma natural. Segundo Mascaró (1991 *apud* VIEIRA, 2014), recomenda-se posicionar o edifício e suas aberturas na direção do vento dominante favorável. Na Figura 22 para Porto Alegre, observa-se que, nos períodos frios, a frequência dos ventos é semelhante nas direções leste e sul, um pouco maior na região oeste e menor na região norte.

Durante o verão, a ventilação é essencial para reduzir o consumo de energia com climatização, sendo que os ventos predominantes vêm do leste, sudeste e sul.

Figura 22 - Frequência e direção dos ventos para Porto Alegre, RS



Fonte: Parâmetros de conforto de P. Alegre, Porto Alegre, NORIE-UFRGS, 1978.
Gráfico 5.3 - Frequência e direção dos ventos

Fonte: Adaptação de Mascaró 1991, pag.177 *apud* VIEIRA, 2014

No campo da inovação, o estudo de Brandalise, Almeida e Ordenes (2020) investiga a eficácia dos materiais de mudança de fase (PCMs, *Phase Change Materials*) no conforto térmico de edificações residenciais em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Utilizando simulações computacionais, a pesquisa analisou o impacto de dois tipos de PCMs, o PCM25 e o PCM22, na temperatura interna ao longo das estações do ano. O PCM25, com um ponto de fusão em torno de 25°C, mostrou-se eficaz durante os meses quentes, reduzindo as horas de desconforto térmico ao absorver calor durante o dia e liberá-lo à noite, o que estabiliza a temperatura interna. Em contraste, o PCM22, com um ponto de fusão em torno de 22°C, foi mais eficiente durante os meses frios, apresentando menor frequência de desconforto térmico devido à sua capacidade de regular a temperatura interna em climas ou períodos próximos a esse ponto de fusão.

Os resultados destacam a importância de alinhar o ponto de fusão do PCM com as condições climáticas locais para otimizar sua eficácia. No verão, o modelo sem PCM tem uma amplitude térmica de 6,28°C, enquanto os modelos com PCMs apresentam uma amplitude mais estável. O PCM25 reduz significativamente essa amplitude, especialmente à tarde e à noite, enquanto o PCM22 mantém uma temperatura interna mais constante no inverno, com uma diferença de temperatura de 5,21°C em comparação com o modelo sem PCM.

Os PCMs armazenam e liberam energia térmica durante a transição entre sólido e líquido, funcionando como reguladores térmicos passivos em construções. Eles ajudam a manter uma temperatura interna estável, aumentando o conforto térmico e a eficiência energética, ao reduzir a necessidade de aquecimento e resfriamento artificial. Além disso,

contribuem para a sustentabilidade ao diminuir as emissões de carbono relacionadas ao consumo de energia elétrica.

No Brasil, conforme Hollmuller *et al.* (2005), o uso extensivo de ar-condicionado para combater o calor excessivo aumenta o consumo de energia e sobrecarrega as concessionárias. Projetos adequados para a envoltória da edificação, incluindo proteção solar, isolamento térmico, controle da área envidraçada, uso de iluminação natural e adaptação da massa estrutural, podem manter o conforto térmico e reduzir a necessidade de ar-condicionado.

4 CONCLUSÕES

Este estudo analisou as estratégias de condicionamento passivo mais utilizadas para as cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, considerando suas particularidades climáticas e padrões de consumo energético. A pesquisa revelou que, embora as estratégias bioclimáticas contribuam significativamente para a melhoria do conforto térmico e da eficiência energética das edificações, a eficácia dessas abordagens varia de acordo com a cidade e a estação do ano, dependendo, principalmente, das características climáticas e da forma com que são utilizadas nas residências.

Curitiba, com seu clima subtropical úmido, é caracterizada por invernos rigorosos e verões moderados, resultando em uma alta incidência de desconforto térmico, sobretudo no inverno. Para mitigar esses efeitos, o uso de materiais com elevada capacidade de armazenamento térmico é essencial. Além disso, o aquecimento solar passivo destaca-se como uma estratégia eficaz para maximizar a entrada de luz solar nos meses mais frios, por meio de grandes aberturas voltadas para o norte, e soluções como a Parede Trombe, que acumulam e liberam calor de forma gradual. Durante o verão, a ventilação natural, especialmente a ventilação cruzada, é fundamental para promover a circulação de ar e resfriar os ambientes.

Em Florianópolis, caracterizada por um clima insular e transicional, com alta umidade e variações sazonais significativas, os desafios climáticos incluem tanto o calor quanto o frio. No verão, estratégias de ventilação natural e sombreamento são cruciais para manter o conforto térmico. A ventilação cruzada, associada ao uso de janelas de correr, facilita a entrada de ar fresco. A inércia térmica é igualmente relevante, pois o uso de materiais com alta capacidade de armazenamento térmico ajuda a atenuar as variações de temperatura interna. Sistemas passivos de resfriamento, como o resfriamento evaporativo indireto e o resfriamento radiativo noturno, também são aplicados para compensar as oscilações térmicas externas. No inverno, combinações de inércia térmica, aquecimento solar passivo e ventilação natural são recomendadas, ainda que muitas vezes sejam necessárias fontes adicionais de aquecimento. A proteção solar, ao longo de todo o ano, contribui para reduzir a necessidade do uso de ar-condicionado, e o emprego de vegetação e coberturas verdes melhora o microclima urbano, impactando positivamente o desempenho térmico interno.

Porto Alegre, que possui um clima subtropical úmido, com verões quentes e invernos que variam de amenos a frios, demanda estratégias eficazes tanto de resfriamento no verão quanto de aquecimento no inverno. No verão, a ventilação cruzada e o sombreamento das fachadas são fundamentais para otimizar o desempenho térmico. A orientação das aberturas

conforme os ventos predominantes maximizam a ventilação natural, mitigando o desconforto térmico causado pelo calor. A inércia térmica, com o uso de materiais de alta capacidade de armazenamento, também se mostra eficaz para minimizar as variações térmicas internas. Durante o inverno, o aquecimento solar passivo torna-se indispensável. Janelas amplas voltadas para o norte facilitam a entrada de luz solar, aquecendo os espaços internos, enquanto o uso de vidros duplos com câmaras de ar aprimora o isolamento térmico, reduzindo as perdas de calor. No verão, *brises* e o sombreamento adequado das fachadas ajudam a controlar o ganho térmico.

A aplicação de estratégias bioclimáticas em edificações existentes, embora desafiadora, é viável e pode trazer benefícios consideráveis em termos de conforto térmico e eficiência energética. O primeiro passo consiste em realizar uma avaliação detalhada das condições atuais e das demandas específicas de cada edificação. A consulta a profissionais especializados em eficiência energética é essencial para identificar soluções adequadas, assegurando que as intervenções sejam eficazes e economicamente sustentáveis. Além disso, a instalação de sistemas de monitoramento e controle pode otimizar o desempenho térmico e energético das edificações ao longo do tempo. Tais adaptações não apenas aprimoram o conforto térmico dos ocupantes, como também reduzem significativamente o consumo de energia, promovendo a sustentabilidade e mitigando os impactos ambientais.

Outro aspecto relevante da aplicação prática dessas estratégias de condicionamento passivo é sua extensão para edificações de interesse social. O conforto térmico adequado pode melhorar significativamente a qualidade de vida das populações de baixa renda, que geralmente têm acesso limitado a recursos de climatização artificial.

A transição para um sistema de construção mais sustentável começa essencialmente pela adoção e criação de políticas públicas que incentivem o uso de sistemas passivos de climatização. Exemplos incluem subsídios para a instalação de janelas adequadas, *brises* solares e coberturas verdes. Campanhas de conscientização e educação profissional para engenheiros, arquitetos e construtores também são fundamentais para a disseminação dessas práticas em larga escala. Além disso, é crucial que normas técnicas, como a NBR 15575 (Desempenho de Edificações), sejam constantemente atualizadas para refletir a importância das soluções bioclimáticas.

As estratégias apresentadas possuem potencial de generalização para cidades com climas semelhantes, embora as condições locais devam ser sempre consideradas para garantir a eficácia das soluções. Regiões com climas subtropicais, transicionais ou temperados podem adotar estratégias semelhantes, desde que as características climáticas e construtivas sejam devidamente avaliadas. Para climas mais extremos, sugere-se a realização de estudos

complementares que explorem adaptações específicas às condições locais, garantindo que os benefícios observados nas cidades do Sul do Brasil possam ser replicados em outros contextos.

A Região Sul do Brasil apresenta um perfil energético caracterizado por um consumo elevado, com crescimento contínuo ao longo dos últimos anos. A região possui uma capacidade instalada significativa de geração de eletricidade, com destaque para o Paraná, que lidera em produção. Em termos de consumo residencial, a região Sul apresenta alta média de consumo per capita, superando a média nacional. Esse cenário reflete não apenas o impacto do clima subtropical, que exige estratégias diferenciadas para aquecimento e resfriamento das edificações, mas também o aumento no uso de equipamentos de controle térmico, como aparelhos de ar-condicionado. Esses fatores ressaltam a importância da implementação de estratégias de eficiência energética e bioclimáticas para otimizar o uso de energia e reduzir a dependência de sistemas artificiais de condicionamento térmico.

Há uma vasta possibilidade para futuras pesquisas no campo da bioclimática. Estudos que investiguem o impacto econômico de longo prazo da adoção dessas estratégias em edificações urbanas, bem como análise da relação entre as estratégias apresentadas e o consumo de energia elétrica, podem fornecer dados concretos que incentivem sua implementação em larga escala. Além disso, pesquisas que explorem a combinação de soluções passivas com tecnologias inovadoras, como materiais de mudança de fase (PCMs) e sistemas de ventilação adaptativos, podem abrir novas fronteiras para edificações ainda mais eficientes e resilientes a variações climáticas extremas.

Em conclusão, a aplicação de estratégias de condicionamento passivo, adaptadas às particularidades climáticas de cada cidade, pode proporcionar ambientes residenciais mais confortáveis e energeticamente eficientes. No entanto, é necessário considerar a integração de soluções adicionais de aquecimento ou resfriamento conforme as necessidades sazonais, a fim de garantir um conforto térmico adequado ao longo de todo o ano. A continuidade da pesquisa e a disseminação de práticas bioclimáticas são fundamentais para promover a sustentabilidade e a eficiência energética nas edificações residenciais da região Sul do Brasil.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Fernando da Silva; BRANDALISE, Mariane Pinto; MIZGIER, Martin Ordenes. **Materiais de mudança de fase como sistema de resfriamento passivo em habitações de interesse social pré-fabricadas leves**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, v. 13, n. 00, p. e022027, 2022. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8666777>. Acesso em: 06 jun. 2024.

ALTOÉ, Leandra et al. **Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. Estudos Avançados**. 2017, v. 31, n. 89. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/vPxbFKL9Jvwg559c6cgCZWp/?lang=pt>. Acesso em: 06 jun. 2024.

ALVES, E. D. L. MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206 p. Sociedade & Natureza, [S. l.], v. 22, n. 3, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9983>. Acesso em: 15 ago. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. 1ª ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2005. 12 p. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/24358/nbr15220-1-desempenho-termico-de-edificacoes-parte-1-definicoes-simbolos-e-unidades>. Acesso em: 16 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220 - 3** – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2010. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27214/nbr15575-1-edificacoes-habitacionais-desempenho-parte-1-requisitos-gerais>. Acesso em: 08 fev. 2024.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **55-2004**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: Ashrae, Inc, 2004. 34 p. Disponível em: https://www.ditar.cl/archivos/Normas_ASHRAE/T0080ASHRAE-55-2004-ThermalEnviromCondiHO.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Fazenda. **Como informar o objetivo de uso da construção**. Brasília: Ministério da Fazenda, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/construcao-civil/cno/inscrever/destinacao>>. Acesso em: 15 nov. 2023

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico De Energia Elétrica 2024**: ano base 2023. Brasília: Epe, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 08 set. 2024.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2024**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Atlas da Eficiência Energética**: brasil 2020. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024.

CORREIA-SILVA, D. C.; RODRIGUES, M.; **Análise da Eficiência no Consumo de Energia dos Estados Brasileiros. Planejamento e Políticas Públicas**, n. 46, jan/jun. 2016, Disponível em <<https://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/556/386> > Acesso em: 15 nov. 2023.

COSTA JUNIOR, Jairo da; DIEHL, Jan Carel; SECOMANDI, Fernando. **Towards systems-oriented energy solutions: a multilevel analysis of a low-income energy efficiency program in Brazil**. Sustainability, [s.l.], v. 11, n. 20, p. 5799, 2019. DOI: 10.3390/su11205799. Acesso em: 10 jul. 2024.

CRUZ et al, Eduardo. **Estudo experimental com sistemas passivos de resfriamento em Florianópolis**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. Anais [...]. Florianópolis: ANTAC, 2014. Acesso em: 10 jul. 2024.

ELI, L.G. **Thermal performance of residential building with mixed-mode and passive cooling strategies: The Brazilian context**. Energy & Buildings, v. 244, p. 111047, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111047>. Acesso em: 10 jul. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **DEA/SEE/007/2020: Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética**. 007 ed. Brasil: Epe, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2023: ano base 2022**. Brasília: Epe, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/anuario-factsheet.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica: base março de 2024**. 199. ed. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-715/BEN_Síntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 10 jul. 2024.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas): painel de monitoramento do consumo de energia elétrica**. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de Conforto Térmico**. 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. 244 p. Disponível em: <https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

GOMES, Amanda Mendes Ferreira. **Avaliação de viabilidade técnica e econômica de sistemas de armazenamento de energia de pequeno porte associados a geradores solares fotovoltaicos residenciais**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244047>. Acesso em: 10 jun. 2024.

HOLLMULLER, Pierre et al. **Potencial da ventilação inercial para resfriamento passivo em climas brasileiros**. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), 2005. Acesso em: 15 jun. 2024.

KRÜGER, Eduardo e ROSSI, Francine. **Quantificação da ilha de calor de Curitiba considerando aspectos de estabilidade atmosférica**. Revista Brasileira de Meteorologia.

2015, v. 30, n. 4. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/sdnsygPPZRvC5mkTY8TsxHH/>. Acesso em: 10 jun. 2024.

KRAJEVSKI, Luis Claudio. **Concentração fundiária nos territórios da cidadania: uma análise sobre os municípios da região sul do Brasil no período 2006-2017**. In: **V Congresso Latinoamericano y Caribeño de Ciencias Sociales**, 5., 2022, Montevideo. **Artigo**. Montevideo: Flasco, 2022. p. 159-179. Disponível em: <https://flasco.edu.uy/web/congreso/wp-content/uploads/2023/05/EJE100080199.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC, 2010. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_I_WEB.pdf,. Acesso em 15 nov 2023

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; ABREU, Ana Lígia Papst de; CARLO, Joyce C.; BATISTA, Juliana Oliveira; MARINOSK, Deivis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho Térmico de Edificações**. 7. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2016. 239 p. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2014. Disponível em https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023

LAMBERTS et al, Roberto. **Sustentabilidades nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área**. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE -UFSC, 2005. Acesso em: 15 jun. 2024.

LINCZUK, Vinícius Cesar Cadena. **Otimização multiobjetivo do projeto de edificações residenciais para obtenção de baixo consumo energético na região sul do Brasil**. 2020. 342 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/handle/prefix/6441>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MICHELS, Caren. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. Florianópolis, 2007. Disponível em: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/dissertacoes/DISSERTACAO_Caren_Michels.pdf >. Acesso em: 11 abr 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **BEN2023: Balanço Energético Nacional 2023**. 2023 ed. Brasil: Epe, 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2023.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. **Sustentabilidade e processos de projetos de edificações**. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 4, n. 1, maio 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.4237/gtp.v4i1.79>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PEREIRA, Emily; JUNIOR, Lindberg. **As chuvas em Florianópolis/SC: um ensaio sobre a gênese, dinâmica e distribuição espaço-temporal das precipitações**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, MS, v. 30, Jan. / Jun. 2022, ISSN 2237-8642. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15327>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PINTO, Mônica Martins. **Avaliação preditiva de conforto térmico em ambientes de escritórios climatizados próximos a fachadas com alto percentual de vidro**. 2023. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253146>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PIRES, Josiane Reschke. **Investigação da viabilidade da redução do consumo de energia elétrica em edificações residenciais através da aplicação de soluções de conforto ambiental passivo**. 2013. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2023. Disponível em: <http://repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/3329/Josiane%20Reschke%20Pi res.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 nov. 2023.

PROJETEE - Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações- LabEEE/UFSC. Disponível em: <http://www.projeteee.mma.gov.br/> Acesso em: 06 jun. 2024.

RUSSI, Madalena; VETTORAZZI, Egon; SANTOS, Joaquim C. Pizzutti dos; ZÓFOLI, Giana da Rocha; SOARES, Roberta Mulazzani Doleys. **Estratégias construtivas na busca de conforto térmico e eficiência energética em edificações unifamiliares de interesse social nas zonas bioclimáticas 1, 2 e 3 brasileiras**. Revista de Arquitetura da Imed, Santa Maria, v. 1, n. 2, p. 113-121, jan. 2012. Disponível em: <https://seer.atitus.edu.br/index.php/arqimed/article/view/414>. Acesso em: 05 fev. 2024.

RUPP, R. F.; GHISI, E. **Potencial de economia de energia elétrica através do uso da luz natural e da ventilação híbrida em edifícios comerciais em Florianópolis**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 75-86, out./dez. 2013. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Acesso em: 06 jun. 2024.

SANTOS, Afonso Henrique Moreira; HADDAD, Jamil; BAJAY, Sérgio Valdir. Eficiência energética e sua inserção no planejamento energético brasileiro. **Revista Brasileira de Energia**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 85-109, 17 ago. 2021. Revista Brasileira de Energia. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.47168/rbe.v27i3.643>. Acesso em: 06 jun. 2024.

SILVA, Heitor da Costa; KINSEL, Luciane Stürmer. **Região climática de Porto Alegre – revisão para um desenho inteligente e uma arquitetura adequada**. Arq Texto 9, 2023. Disponível em: https://www.ufrgs.br/propar/wp-content/uploads/2023/06/9_Heitor-da-Costa-Silva-e-Luciane-Sturmer-Kinsel.pdf Acesso em: 06 jun. 2024.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **The effect of window opening ventilation control on residential building energy consumption**. *Energy and Buildings*, v. 133, p. 1-13, 2016. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.059>. Acesso em: 06 jun. 2024.

SUZUKI, Eimi Veridiane. **Avaliação do potencial de aquecimento/resfriamento de um sistema de climatização passiva**. 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/348>. Acesso em: 30 nov. 2023.

VIEIRA, Renata Dias; SANTOS, Ísis Potorlan dos. **Estratégias de condicionamento térmico passivo para edificações de clima subtropical – estado do rio grande do sul**. 2014. 47 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética Aplicada Aos Processos Produtivos, Educação A Distância da Ufsm, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/1372>. Acesso em: 12 fev. 2024.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. **Energy Efficiency in Buildings**. Disponível em: <https://www.wbcd.org/Programs/Cities-and-Mobility/Energy-Efficiency-in-Buildings> Acesso em: 15 de nov de 2023. [S.l.]

ZHOVKVA, O. **Los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente para complejos multifuncionales**. Rev. ing. constr., Santiago, v. 35, n. 3, p. 308-320, dic. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000300308>. Acesso em: 06 jun. 2024.